

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ  
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου του χειμάρρου Μουτσιαρίτη  
και η συμβολή στη Διδακτική Περιβάλλοντος»**

**Μαρία Γούλα**



**ΒΟΛΟΣ 2018**

**UNIVERSITY OF THESSALY  
SCHOOL OF AGRICULTURAL SCIENCES  
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC  
ENVIRONMENT**

**POSTGRADUATE MASTER'S THESIS**

**Investigation of the water balance of the Moutsiaritis stream and  
contribution to Environmental Education**

**Maria Goula**

**VOLOS 2018**

**«Διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου του χειμάρρου Μουτσιαρίτη και η συμβολή στη  
Διδακτική Περιβάλλοντος»**

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:**

- 1) **Άρης Ψιλοβίκος**, Αν. Καθηγητής, Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων***,
- 2) **Στεριανή Ματσιώρη**, Επίκουρη Καθηγήτρια, Οικονομική Αποτίμηση των Υδάτινων Πόρων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος***,
- 3) **Δημήτρης Στάθης**, Καθηγητής, Διευθετήσεις Ορεινών Υδάτων – Υδρομετεωρολογία, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ***Μέλος***.

*Στον πατέρα μου, Σωτήρη, που μου έμαθε να παρατηρώ τα οικοσυστημικά*

*φαινόμενα και να εκτιμώ τη Φύση.*

*Στη μητέρα μου, Ουρανία, που πίστευε πάντα στην ιδέα των ανώτατων σπουδών.*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω εις πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Άρη Ψιλοβίκο, Αναπληρωτή Καθηγητή Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από την κα Ματσιώρη Στεριανή, Επίκουρη Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και τον κ. Στάθη Δημήτρη, Καθηγητή ΑΠΘ για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες αξίζουν στη Χημικό Μηχανικό και υποψήφια διδάκτωρ του τμήματος, κα Λίνα Καραμούτσου, για την συνεχή και εντατική επιστημονική της υποστήριξη. Επίσης, θα ήταν παράλειψη και για αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον δασάρχη Τρικάλων, κ. Χρήστο Κουλουκούρα και το προσωπικό του δασαρχείου Τρικάλων, για την αναντικατάστατη συμβολή τους στην κατανόηση τεχνικών-επιστημονικών εννοιών και την αθρόα παροχή δασολογικού υλικού, τον δασολόγο, κ. Ηλία Κουλουκούρα, για την αποτελεσματική υποστήριξη του στην εκμάθηση του λογισμικού επεξεργασίας χαρτών, τον φύλακα του δασαρχείου Περτουλίου, κ. Δημήτριο Παπαχαραλάμπους, για την καθοριστικής σημασίας βοήθεια του στην κτήση στοιχείων και την διαφωτιστική κατατόπιση και τον συνάδελφο εκπαιδευτικό κ. Παναγιώτη Βίγκλα για τις εύστοχες παρατηρήσεις του.

Τέλος, ευχαριστώ τον σύζυγό μου, Νίκο Χασάναγα, για την επιστημονική και ποικίλης φύσης συμπληρωματική συμβολή.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη του υδατικού ισοζυγίου, βάσει υδρολογικών δεδομένων της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Μουτσιαρίτη, με την προοπτική της διδακτικής αξιοποίησης. Η καινοτομία έγκειται στη μελέτη υδατικού ισοζυγίου με επιστημονικώς λεπτομερειακό, έγκυρο και ταυτόχρονα διδακτικά δόκιμο τρόπο. Τονίζεται δε, ότι το υδατικό ισοζύγιο στο συγκεκριμένο χειμαρρικό σύστημα είναι ένα ελάχιστα διερευνημένο πεδίο, πολύ περισσότερο όταν γίνεται με στόχο τη σχολική Διδακτική.

Με τη βοήθεια του λογισμικού Autocad, πραγματοποιήθηκε ο επαναπροσδιορισμός της λεκάνης απορροής του υπό εξέταση χειμάρρου και δημιουργήθηκε ο νέος ψηφιακός χάρτης. Σχεδιάστηκε το υδρογραφικό δίκτυο και προσδιορίστηκε ο υδροκρίτης της λεκάνης απορροής. Επιπλέον, δημιουργήθηκε ο χάρτης χρήσεων γης. Στη συνέχεια, βάσει μετεωρολογικών δεδομένων μελετήθηκε για τη χρονική περίοδο 2010-2017 η απορροή, στηριζόμενη στους υπολογισμούς της εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite και της εδαφικής υγρασίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το έτος με το χαμηλότερο όγκο απορροής είναι το 2011 ( $44.096.707 \text{ m}^3$ ), ενώ ο μεγαλύτερος όγκος απορροής παρουσιάστηκε το έτος 2012 με σχεδόν διπλάσια τιμή.

**Λέξεις κλειδιά:** εξισώσεις υδατικού ισοζυγίου, λεκάνη απορροής, εξατμισοδιαπνοή, απορροή, εδαφική υγρασία, διδακτική περιβάλλοντος

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 Οριοθέτηση και σκοπός .....	1
1.2 Βασική εννοιολογία .....	3
1.2.1 Η έννοια του υδρολογικού κύκλου .....	3
1.2.2 Η έννοια της απορροής .....	8
1.2.3 Η έννοια του υδατικού ισοζυγίου .....	9
1.2.4 Η έννοια του υδατορεύματος και συγγενείς έννοιες .....	10
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ .....	13
2.1 Επιλογή και φυσική περιγραφή .....	13
2.2 Γεωλογικές συνθήκες .....	16
2.3 Εδαφολογικές συνθήκες .....	17
2.4 Βλάστηση της λεκάνης .....	18
3. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ .....	21
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	25
4.1 Επεξεργασία .....	25
4.2 Μορφομετρικά— υδρογραφικά χαρακτηριστικά .....	25
4.3 Χρήση γης .....	34
5. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ .....	37
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	48
6.1 Διηθητικότητα (CN) .....	48
6.2 Υδρογραφικό δίκτυο .....	50
6.3 Κατακρημνίσματα .....	51
6.4 Θερμοκρασία .....	55
6.5 Υγρασία εδάφους .....	57
6.6 Εξατμισοδιαπνοή .....	57
6.7 Τελική Απορροή .....	59
7. ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ .....	64
7.1 Η Διδακτική Περιβάλλοντος .....	64
7.2 Υδάτινο περιβάλλον και Διδακτική .....	68
7.3 Εκπαιδευτική προσέγγιση .....	71



## VII

7.4 Υδατικό ισοζύγιο-Εκπαιδευτικές προτάσεις .....	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	86
<b>Abstract</b> .....	92
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	93

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Οριοθέτηση και σκοπός

Το νερό συνιστά πολύτιμο ανανεώσιμο πόρο καθώς και τον κυριότερο φυσικό πόρο στον οποίο οφείλεται η ζωή. Ο πιο λειτουργικά διαχειρίσιμος όγκος του σχηματίζεται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι, πάχνη, δροσιά) που συγκεντρώνονται στη βασική κοίτη της λεκάνης απορροής και εμφανίζεται ως **επιφανειακή απορροή**, αφού πρώτα αφαιρεθούν με τη σειρά τους α) η **εξατμισοδιαπνοή**, β) η **εδαφική υγρασία** που κατακρατείται στην εδαφική κατατομή, γ) η **κατείσδυση** του προς τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα (**υπόγεια απορροή**).

Μια λεκάνη απορροής οριοθετείται από μία νοητή γραμμή, την υδροκριτική γραμμή ή αλλιώς τον υδροκρίτη, που συνδέει τα ψηλότερα σημεία των κορυφογραμμών, υψωμάτων, εξαρμάτων και ραχών της επιφάνειας της γης και διαχωρίζει τη ροή των όμβριων υδάτων, δηλαδή είναι το νοητό όριο μεταξύ δύο λεκανών απορροής (Ψιλοβίκος, 2016).

Τα νερά αποστραγγίζονται από ένα δίκτυο υδατορευμάτων διαφόρων τάξεων όπως ρυάκια, χείμαρροι, παραπόταμοι, καταλήγοντας σε ένα κεντρικό σύστημα, τον ποταμό, που οδηγεί προς την έξοδό τους από τη λεκάνη απορροής. Η κίνηση του νερού γίνεται σύμφωνα με το νόμο της βαρύτητας, δηλαδή από τις θέσεις με το μεγαλύτερο υψόμετρο προς τις θέσεις με το χαμηλότερο υψόμετρο. Το κλίμα της περιοχής που βρίσκεται η λεκάνη, καθώς και τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της, όπως α) ο τύπος του εδάφους, β) το γεωλογικό υπόβαθρο, γ) η κλίση, δ) το ανάγλυφο, ε) η βλάστηση και στ) οι χρήσεις γης καθορίζουν την ποιότητα και την ποσότητα των νερών που ρέουν σε αυτήν.

Οι λεκάνες απορροής είχαν από την αρχαιότητα έως σήμερα κρίσιμη σημασία για τη χρησιμοποίηση του νερού για σκοπούς ενεργειακούς, υδρευτικούς και αρδευτικούς καθώς και για το σύστημα της υδατικής οικονομίας και καθιστούσαν εφικτή τη χρησιμοποίηση ακόμη και υπό συνθήκες αρχαίας ή πρωτόγονης τεχνολογίας.

Το επιφανειακά σχηματιζόμενο σύνολο των φυσικών υδατορευμάτων, καθώς επίσης των πιθανών τεχνητών αγωγών και των ενδεχόμενων λιμνών ή τελμάτων που τελικώς σχηματίζονται ή παρεμβάλλονται στη ροή τους, το οποίο σχηματίζεται από τις συσσωρευόμενες ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, αποτελούν το λεγόμενο «υδρογραφικό δίκτυο». Η επιφανειακή ροή των υδάτων μέσω του υδρογραφικού δικτύου που καταλήγει στην έξοδο της λεκάνης απορροής, έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται διάφορες δίοδοι και μετέπειτα λεκάνες και κοιλάδες εξαιτίας της διάβρωσης του εδάφους καθώς και της μεταφοράς ή της εναπόθεσης φερτών υλικών (Ψιλοβίκος 2016) (Εικόνα1.1).



**Εικόνα 1.1:** Υδρογραφικό δίκτυο (<http1>)

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη του υδατικού ισοζυγίου, βάσει υδρολογικών δεδομένων της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη, με την προοπτική της διδακτικής αξιοποίησης. Η καινοτομία έγκειται στη μελέτη υδατικού ισοζυγίου με επιστημονικώς λεπτομερειακό και έγκυρο και ταυτόχρονα διδακτικά δόκιμο τρόπο σε επίπεδο σχολείου. Τονίζεται δε, ότι το υδατικό ισοζύγιο σε χειμαρρικά συστήματα με στόχο τη σχολική Διδακτική, είναι ένα ελάχιστα διερευνημένο πεδίο.

## **1.2 Βασική εννοιολογία**

### **1.2.1 Η έννοια του υδρολογικού κύκλου**

Η μελέτη των υδατικών πόρων άπτεται άμεσα της παρατήρησης και κατά συνέπεια της κατά το δυνατόν λεπτομερειακής γνώσης των διαφόρων σταδίων του υδρολογικού κύκλου. Ο υδρολογικός κύκλος ή η υδρολογική ανακύκληση ή, πιο απλά, ο «κύκλος του νερού», έχει να κάνει με την γενική κυκλοφορία του νερού από τις υγρές επιφάνειες (ποτάμια, λίμνες, ωκεανούς) προς την ατμόσφαιρα και στη συνέχεια με την επιστροφή του ξανά στη γη ως κατακρήμνισμα. Ο υδρολογικός κύκλος θεωρείται αέναος και συνεχής χωρίς αρχή και τέλος, αλλά για τις θεωρητικές ανάγκες της μελέτης αυτής, έχει προταθεί να γίνει δεκτή ως αρχή του υδρολογικού κύκλου η εξάτμιση του νερού (Εικόνα 1.2) (Παυλίδης, 2005).



**Εικόνα 1.2:** Ο υδρολογικός κύκλος του νερού (<http> 2)

Στα στάδια του υδρολογικού κύκλου παρατηρούμε ότι μέρος του νερού των κατακρημνισμάτων διαβρέχει και συγκρατείται στην φυτοκόμη (υδατοσυγκράτηση) της δασικής βλάστησης (δενδρώδης, θαμνώδης, ποώδης) προτού φτάσει στο έδαφος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η ποσότητα του νερού που μετράται στο έδαφος. Η υδατοσυγκράτηση επανακάμπτει στην ατμόσφαιρα ως εξάτμιση της φυτοκόμης της βλάστησης (Παυλίδης, 2005).

Σύμφωνα με τον Παυλίδη (2005), η ποσότητα των κατακρημνισμάτων που φτάνει στο έδαφος μπορεί:

- Να διακρατηθεί στην επιφάνεια του εδάφους και στις επιφανειακές κοιλότητες, απ' όπου είτε με τη διαδικασία της εξάτμισης και της διαπνοής των φυτών (εξατμισοδιαπνοή) κατευθύνεται στην ατμόσφαιρα.
- Να διηθηθεί προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους, σχηματίζοντας τα υπόγεια νερά, τις πηγές, τους υδροφόρους ορίζοντες (φρεάτιους και υπό πίεση) και εν μέρει τις παροχές των χειμάρρων.
- Να κινηθεί επιφανειακά υπό την επήρεια της βαρύτητας, σχηματίζοντας την επιφανειακή απορροή και συνεπώς, το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης.

Από τα παραπάνω μπορούμε να περιγράψουμε τα στάδια του υδρολογικού κύκλου ως εξής (Παυλίδης, 2005):

- Γενικός υδρολογικός τύπος: κατακρημνίσματα → εξάτμιση → διαπνοή → διήθηση → απορροή → εξάτμιση.
- Τοπικός υδρολογικός τύπος με δασοκάλυψη: κατακρημνίσματα → υδατοσυγκράτηση → εξάτμιση → διαπνοή → διήθηση → απορροή → εξάτμιση

Η υδατοσυγκράτηση από την κομοστέγη, τους κορμοκλάδους, τα κλαδιά και τους κορμούς των δέντρων ελαττώνει την ποσότητα των κατακρημνισμάτων που φτάνει στο έδαφος επηρεάζοντας τις λειτουργίες της απορροής και της διήθησης.

Εξάτμιση (evaporation) λέγεται το μέρος των κατακρημνισμάτων όπου μεταπίπτει στην αέρια κατάσταση. Οι υδρατμοί προέρχονται από το επιφανειακό νερό του εδάφους που προέρχεται από τη βροχή και το χιόνι καθώς και από την απευθείας εξάχνωση του πάγου. Εξάτμιση γίνεται και στην κόμη των φυτών από την ποσότητα του νερού που έχει συγκρατηθεί (υδατοσυγκράτηση) όπως έχει αναφερθεί παραπάνω (Λουκάς, άνευ έτους).

Διαπνοή (transpiration) ονομάζεται η μετατροπή των κατακρημνισμάτων σε υδρατμούς που γίνεται στα φυτά ακολουθώντας την σειρά: τα φυτά απορροφούν το νερό που υπάρχει στο έδαφος χρησιμοποιώντας το ριζικό τους σύστημα. Στη συνέχεια το νερό περνά στο αγγειακό σύστημά τους και από εκεί μεταβιβάζεται στην ατμόσφαιρα υπό μορφή υδρατμών, δια μέσου των πόρων (στομάτων) που υπάρχουν στα φυλλώματά τους (Λουκάς, άνευ έτους).

Η εξάτμιση και η διαπνοή θα μπορούσαν να θεωρηθούν παρόμοιες διεργασίες με τη διαφορά ότι τα φυτά κατά τη διάρκεια της διαπνοής ελέγχουν την ποσότητα του νερού που διαπνέεται ανοιγοκλείνοντας τα στόμια των φύλων τους. Επειδή και στις δύο περιπτώσεις (εξάτμιση και διαπνοή) έχουμε απώλεια νερού σε υδρατμούς και ο

διαχωρισμός τους είναι πολύ δύσκολος, γι' αυτό και επεκράτησε ο όρος Εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration) που εκφράζεται με το άθροισμα της εξάτμισης και της διαπνοής. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για περιοχές που έχουμε φυτοκάλυψη.

Η εξατμισοδιαπνοή είναι μία συνεχόμενη διαδικασία και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως:

- Την ηλιακή ακτινοβολία.
- Τη θερμοκρασία
- Τη φύση της επιφάνειας που λαμβάνει χώρα η εξατμισοδιαπνοή
- Τη σύσταση του εδάφους και τη γεωφυσιολογία της περιοχής
- Την κλίση της επιφάνειας
- Την ποσότητα των κατακρημνισμάτων για εξάτμιση
- Τη βλάστηση της επιφάνειας (λιβαδοπονική, αγροτική, δασική, μερικώς δασοσκεπής, άγρονη, βοσκότοποι)
- Την ταχύτητα του ανέμου
- Την πίεση των υδρατμών

Δυνητική εξατμισοδιαπνοή (potential evapotranspiration) «ονομάζεται η ποσότητα της εξατμισοδιαπνοής που πραγματοποιείται σε εδαφικές επιφάνειες που είναι πλήρως και ομοιόμορφα καλυμμένες από βλάστηση και έχουν τη δυνατότητα απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού» (Λουκάς, άνευ έτους).

Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (actual evapotranspiration) «ονομάζεται το σύνολο των πραγματικών απωλειών των νερών από την εξάτμιση που γίνεται από το έδαφος και τη διαπνοή των φυτών» (Λουκάς, άνευ έτους).

Είναι συνεπώς κατανοητό ότι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή είναι μικρότερη ή ίση με την δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Υπάρχουν αρκετοί μέθοδοι για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής με διαφορετικό τρόπο προσέγγισης και ακρίβεια αποτελεσμάτων.

Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται κυρίως από τον τύπο της περιοχής μελέτης και το πού απευθύνεται η πληροφορία. Επίσης το κόστος και η τεχνική ευκολία καθορίζουν την επιλογή της εκάστοτε μεθόδου (Μάρης, άνευ έτους).

Η άμεση μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής γίνεται με:

- Δεξαμενές,
- Λυσίμετρα,
- Χρήση αγροτεμαχίων.

Έμμεσοι τρόποι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής (Μάρης, άνευ έτους):

- Μέθοδοι υδατικού ισοζυγίου όπου η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται ως υπολειπόμενος όρος της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου και οι άλλες παράμετροι υπολογίζονται ή μετρούνται
- Μέθοδοι προσδιορισμού της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής από κλιματικά δεδομένα όπως:
  - Μέθοδος Penman- Monteith
  - Μέθοδος Thornthwaite,
  - Μέθοδος Blaney-Criddle
  - Μέθοδος Jensen-Haise
  - Μέθοδος Makkink
  - Μέθοδος Hargreaves
- Μέθοδοι προσδιορισμού της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής από κλιματικά δεδομένα:
  - Μέθοδος Turc
  - Μέθοδος Coutagne



### 1.2.2 Η έννοια της απορροής

Ως **απορροή** ορίζεται η κίνηση του νερού των κατακρημνισμάτων, που παρατηρείται στις λεκάνες απορροής, προς το χαμηλότερο υψόμετρο με μόνιμο ή παροδικό χαρακτήρα. Η απορροή διακρίνεται σε επιφανειακή και υπόγεια.

Ως **επιφανειακή απορροή** χαρακτηρίζεται το ποσό των κατακρημνισμάτων που ρέει επιφανειακά με την κατεύθυνση της μέγιστης κλίσης, σχηματίζοντας το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής και καταλήγει στην έξοδο της λεκάνης απορροής.

**Υπόγεια απορροή** ονομάζεται η ποσότητα του νερού που διηθείται προς τα κατώτερα στρώματα του εδάφους σε χώρους όπου δεν είναι κορεσμένοι. Στη συνέχεια είτε εμφανίζεται ξανά στην επιφάνεια ως πηγή, είτε κατεισδύει σε βαθύτερα υδροφόρα στρώματα που είναι κορεσμένα σε νερό, εμπλουτίζοντάς τα (Ψιλοβίκος, 2016).

Η απορροή είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης πολλών και ποικίλων συνιστωσών που καθορίζονται από χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής και έχουν ως αποτέλεσμα τη διαφορετική τους συμπεριφορά. Ιδιαίτερα για τις ορεινές λεκάνες αξίζει να τονιστούν οι ακόλουθες παράμετροι (Μάρης, άνευ έτους):

- Η σημασία της χωρικής διάταξης: Στις λεκάνες που έχουν τον άξονά τους κάθετο προς την κατεύθυνση των ομβροφόρων ανέμων παρατηρείται μικρότερη απορροή από εκείνες που έχουν το άξονά τους παράλληλο.
- Η μορφολογία της ορεινής λεκάνης: Αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ένταση της απορροής. Μία λεκάνη επιμήκης δίνει μικρότερη ένταση απορροής σε σύγκριση με μία στρογγυλόμορφη της ίδιας έκτασης. Η ισχυρή κλίση της λεκάνης δημιουργεί μεγαλύτερη ταχύτητα ροής που αυτό φανερώνει μεγαλύτερη απορροή.
- Η έκταση των ορεινών λεκανών: Λεκάνες που έχουν μεγάλη έκταση εμφανίζουν μικρή σχετικά διακύμανση και μεγάλη διάρκεια πλημμυρικής αιχμής. Αντιθέτως

λεκάνες μικρών χειμάρρων παρουσιάζουν αιφνίδιες παροχές με πολύ μικρή διάρκεια.

- Η φυτοκάλυψη της ορεινής λεκάνης: Στη δασική βλάστηση παρουσιάζεται το φαινόμενο της υδατοσυγκράτησης στην κομοστέγη. Παράλληλα, εξαιτίας του ριζικού συστήματος και του δασικού τάπητα αυξάνεται η διαπερατότητα του εδάφους. Ως εκ τούτου, τα υδάτινα κατακρημνίσματα, αφού περάσουν από τα φυλλώματα και το έδαφος, απορρέουν αργά με κατεύθυνση προς τα κάτω. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η απορροή.
- Η ύπαρξη των στραγγιστικών έργων: Προκαλούν μείωση της απορροής, καθώς συκρατούν το νερό και αυξάνουν την ταχύτητα διείσδυσης και διήθησης στο έδαφος. Η απορροή είναι συνάρτηση του ύψους των κατακρημνισμάτων. Χωρίς αυτά λοιπόν μπορεί να επιταχυνθεί η απορροή και να υπάρξουν πλημμυρικά φαινόμενα.
- Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης της λεκάνης: Η γενική τάση είναι όσο αυξάνεται το υψόμετρο της λεκάνης να αυξάνεται το ύψος των κατακρημνισμάτων και κατά συνέπεια της απορροής, ενώ η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται. (Ωστόσο, υπάρχουν και αποκλίσεις από τον κανόνα, που οφείλονται στις ιδιαιτερότητες του ανάγλυφου και των κλιματικών παραγόντων).
- Η ραγδαιότητα και η διάρκεια των κατακρημνισμάτων: Η ραγδαιότητα και η διάρκεια τείνουν να είναι αντιστρόφως ανάλογα μεγέθη. Μια σύντομη βροχόπτωση, αν είναι ραγδαία μπορεί να δημιουργήσει σημαντική πλημμύρα.

### 1.2.3 Η έννοια του υδατικού ισοζυγίου

Υδατικό (υδρολογικό) ισοζύγιο είναι η μαθηματική έκφραση του υδρολογικού κύκλου μιας λεκάνης απορροής και ορίζεται από την παρακάτω τύπο:

$$\Delta Q = P - ET$$

όπου:

**ΔQ:** τελική απορροή

**P:** σύνολο κατακρημνισμάτων

**ET:** εξατμισοδιαπνοή

Το υδατικό ισοζύγιο ή ισοζύγιο νερού χαρακτηρίζεται από τη διαφορά (θετική, αρνητική, μηδενική) ανάμεσα στις ανάγκες για νερό και της διαθέσιμης ποσότητας νερού. Το πρόσημο της τιμής της διαφοράς καθορίζει και τις περιόδους ξηρασίας ή βροχών.

#### 1.2.4 Η έννοια του υδατορεύματος και συγγενείς έννοιες

Υπάρχουν νομικοί ορισμοί που έχουν δοθεί πρωτίστως για τις ανάγκες λειτουργίας της δημόσιας διοίκησης. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι ακόλουθοι:

Σύμφωνα με το Νόμο 2458/2014, Άρθρο 1, «Υδατορεύματα ή υδατορέματα (μη πλεύσιμοι ποταμοί, χείμαρροι, ρέματα και ρυάκια): οι φυσικές ή διευθετημένες διαμορφώσεις της επιφάνειας του εδάφους που είναι κύριοι αποδέκτες των υδάτων της επιφανειακής απορροής και διασφαλίζουν την διόδευσή τους προς άλλους αποδέκτες σε χαμηλότερες στάθμες. Στην έννοια του υδατορεύματος δεν περιλαμβάνονται τα εγχειοβελτιωτικά έργα όπως αρδευτικές και αποστραγγιστικές τάφροι καθώς και οι πλεύσιμοι ποταμοί».

Σύμφωνα με το Νόμο 3199/2003, Άρθρο 2, «Ποταμός»: είναι σύστημα εσωτερικών υδάτων το οποίο ρέει, κατά το μεγαλύτερο μέρος του, στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά το οποίο μπορεί, για ένα μέρος της διαδρομής του, να ρέει και υπογείως»

Υπάρχουν ωστόσο και ορισμοί που έχουν υιοθετηθεί ή προταθεί για τις ανάγκες της έρευνας. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι παρακάτω: «*Χείμαρρος: είναι το υδρολογικό ρεύμα που ρέει σε πολύ μικρές κοιλάδες και σε χαράδρες, έχει μικρή λεκάνη απορροής (έκταση ορεινής λεκάνης έως 300km<sup>2</sup>) και κλίση σχετικά έντονη, στενή κοίτη με σημαντική κλίση πυθμένα, μικρή σχετικά υδατοπαροχή, ανώμαλη δίαιτα και δημιουργεί αιφνίδιες και σύντομες πλημμύρες. Στη λεκάνη του κυριαρχούν τα τμήματα με ημιορεινή, ορεινή και πολύ ορεινή διαμόρφωση*» (Κωτούλας, 2001 κατά Καραπάνο 2007).

Τα χειμαρρικά γνωρίσματα είναι:

- η περιοδική υδρολογική δίαιτα των ρευμάτων
- η απόσταση από τα ορεινά και η μεταφορά και η εναπόθεση φερτών υλικών στις πεδινές περιοχές.

Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι τα εξής χειμαρρικά φαινόμενα:

- Η δημιουργία διαβρώσεων, αποσαθρώσεων, γεωλισθήσεων και γεωκατακρημνίσεων που προκαλεί το νερό στο γεωλογικό απόθεμα της λεκάνης απορροής όπου και παράγονται φερτές ύλες και στη συνέχεια προσχώσεις εξαιτίας της εναπόθεσης αυτών των υλών.
- Έντονες πλημμύρες όταν συμβαίνουν ισχυρές βροχοπτώσεις ή αιφνίδια τήξη χιονιού.
- Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ελάχιστη έως καθόλου παροχή νερού.

Επιπροσθέτως, για την εμφάνιση των χειμαρρικών φαινομένων ευθύνεται η αλλαγή χρήσης της δασικής γης και η υπερβόσκηση των βοσκότοπων (Κωτούλας κατά Καραπάνο 2007).

Τέλος, αξίζει να επισημανθεί πως με τον όρο ισοϋψής καμπύλη εννοούμε την κατακόρυφη προβολή στο χάρτη της καμπύλης που ενώνει σημεία ιδίου υψομέτρου.

Ισοδιάσταση, ονομάζεται η κατακόρυφη απόσταση, που είναι πάντα σταθερή, μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋψών καμπυλών (Ψιλοβίκος, 2016).

## 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

### 2.1 Επιλογή και φυσική περιγραφή

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το χειμαρρικό σύστημα του Μουτσιαρίτη, επειδή αποτελεί περιοχή συνεχούς επιφανειακής απορροής και ανήκει στον άνω ρου του Αχελώου ποταμού που αποτελεί ένα σημαντικό ποτάμιο σύστημα της Ελλάδας. Επίσης η περιοχή αυτή δεν έχει μελετηθεί ιδιαίτερα.

Ο Μουτσιαρίτης (ή Μουτσαρίτης ή Μουτσιαρίτικο ρέμα) βρίσκεται δυτικά της Περιφερειακής Ενότητας (ΠΕ) Τρικάλων και σχηματίζεται από μικρότερα ρέματα που πηγάζουν από τα Αθαμανικά όρη (στο Εθνικό Πάρκο Τζουμέρκων. Περιστερίου και χαράδρας Αράχθου), δηλαδή υφίστανται μικρές σε έκταση υπολεκάνες απορροής που συγκροτούν μεγαλύτερη ομώνυμη λεκάνη απορροής του χειμάρρου. Συγκεκριμένα, ο Μουτσιαρίτης κινείται από δυτικά με κατεύθυνση ΒΑ και με τελικό αποδέκτη τον Αχελώο ποταμό. Γεωγραφικά ανήκει στην Θεσσαλία και από υδρολογικής άποψης, ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, στο οποίο ανήκει η Λεκάνη Απορροής Αχελώου (GR 04).

Τα σημαντικότερα ρέματα που καταλήγουν σε αυτόν και έχουν μόνιμη ροή σε όλη τη διάρκεια του έτους είναι: Κακαρδίτσας Σπαθών, Καραβίδας, Γκούρας και βρίσκονται στην Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων καθώς το ρέμα Καταθήκη που βρίσκεται στην Περιφερειακή Ενότητα Άρτας.

Μικρότερα ρέματα επίσης που έχουν μόνιμη ροή σε όλη τη διάρκεια του έτους σχηματίζονται στις δασικές θέσεις Αγκαθάκι, Αηλιά και με περιοδική ροή στις δασικές θέσεις Παλιοέλατος, Ανήλιο, Κύδρος και Ποτιστής. Ο Μουτσιαρίτης είναι η κατάληξη των παραπάνω ρεμάτων χύνεται στον Αχελώο που σε εκείνη την περιοχή ονομάζεται «Ασπροπόταμος», διότι θεωρείται ότι έχει πάντα καθαρά και διαυγή νερά

(Διαχειριστική έκθεση Δημοσίου Δάσους Αθαμανίας 2016-2025, Μελέτη διαχείρισης Δημοτικού Δάσους Γαρδικίου, 2016-2025).

Η νοητή γραμμή που καθορίζει τον υδροκρίτη της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη ξεκινά από τη συμβολή με τον Αχελώο και ακολουθεί δυτική κατεύθυνση προς την κορυφή Κουρούνα (1895m) και την κορυφή Κρυονέρι, συνεχίζει νότια προς την κορυφή Κακαρδίτσα (2429m) προχωρώντας ΝΔ στην κορυφή Χίλια Εξήντα (2251m). Από το σημείο αυτό κατευθύνεται νότια στην περιοχή Σταυρός (1800 m) και την περιοχή Κρυάκουρας. Με κατεύθυνση ανατολικά συνεχίζει στην περιοχή Φούρκα και ΒΑ στη κορυφή Σούφλα (1840m) και Δοκίμι (2020m). Κατεβαίνοντας κατευθύνεται βόρεια στη θέση Περτούσα (1940m) και Μακρυά Ράχη (1708 m) και στο τέλος με κατεύθυνση ΒΑ καταλήγει στο σημείο που ο Μουτσιαρίτης συναντά τον Αχελώο (~775m) (Εικόνα 2.1).



**Εικόνα 2.1:** Η εκβολή του Μουτσιαρίτη στον Αχελώο (από προσωπικό αρχείο)

Η λεκάνη απορροής του Μουτσιαρίτη εκτείνεται εντός περιοχών του δημοσίου δάσους Αθαμανίας Τρικάλων, δημοτικού δάσους Γαρδικίου Τρικάλων και δημοσίου δάσους Μελισσουργών Άρτας.

Στην εξεταζόμενη περιοχή υπάρχει «Μονάδα Πάχυνσης Πέστροφας σε Χερσαίες Εγκαταστάσεις - Ιχθυογεννητικός Σταθμός - Συσκευαστήριο-Καπνιστήριο Ιχθύων» όπου από τον ποταμό Μουτσιαρίτη η μονάδα υδροδοτείται τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο, από το ρέμα Κακαρδίτσας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ από το ρέμα Γκούρα το χρονικό διάστημα από Νοέμβριο έως Μάιο, όταν υπάρχει επαρκής ποσότητα νερού. Οι ετήσιες ανάγκες ανά πηγή υδροληψίας κατανέμονται ως εξής: Μουτσιαρίτης ποταμός:  $1.048.280 \text{ m}^3/\text{έτος}$ , Ρέμα Κακαρδίτσα:  $5.141.400 \text{ m}^3/\text{έτος}$ , Ρέμα Γκούρα:  $100.000 \text{ m}^3/\text{έτος}$  (Εικόνα 2.2)



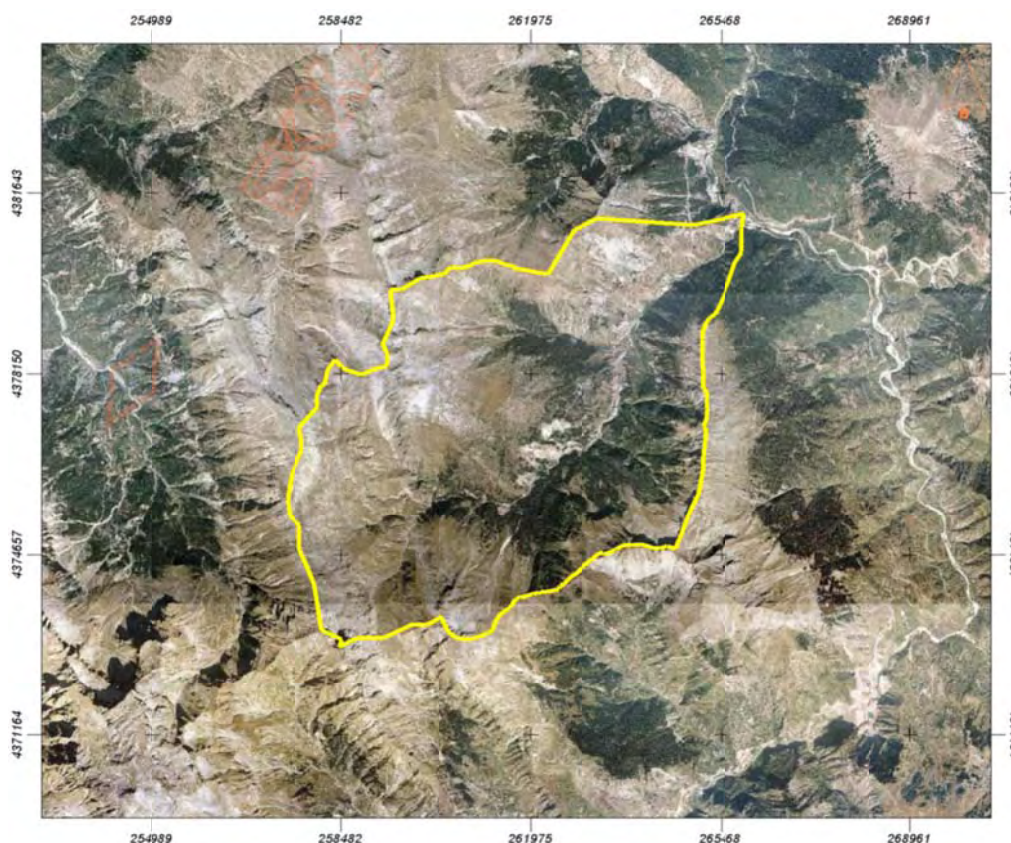
**Εικόνα 2.2:** Λεκάνη απορροής Μουτσιαρίτη (από προσωπικό αρχείο)



Η λεκάνη απορροής περικλείεται από τις παρακάτω γεωγραφικές συντεταγμένες στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ 87'):

- X: από 257.500 μέχρι 265.468 και
- Y: από 4.372.500 μέχρι 4.381.643

Ο ως άνω περιγραφόμενος υδροκρίτης ορίζεται ακριβέστερα στο αντίστοιχο απόσπασμα δορυφορικής εικόνας (Εικόνα 2.2), με συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87 από σημείο 0: X=265129.26, Y=4378802.34 έως σημείο 173: X=265114.60, Y=4378692.15.



**Εικόνα 2.3:** Απόσπασμα δορυφορικής εικόνας του υδροκρίτη του Μουτσιαρίτη (Τρικάλων) 6/8/2017 ΕΚΧΑ ΑΕ. (συντεταγμένες ΕΓΣΑ 87 στο παράρτημα, σημεία 0-173)

## 2.2 Γεωλογικές συνθήκες

Γενικά οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής ανήκουν στην γεωτεκτονική ζώνη Ωλωνού - Πίνδου. Τα κυριότερα πετρώματα της λεκάνης απορροής

είναι κλαστικοί σχηματισμοί μαργαϊκών ασβεστολίθων, ιλυολίθων και λεπτοκόκκων ψαμμιτών, ασβεστόλιθοι πλακώδεις, ασβεστόλιθοι και κερατόλιθοι, αργιλοπυριτικοί σχηματισμοί, μάργες, λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι και ασβεστοψαμμίτες, ανωκριτιδικοί ασβεστόλιθοι. Οι ασβεστόλιθοι και οι κερατόλιθοι υπόκεινται σε αποσάθρωση και απολέπιση, λόγω των καιρικών γενικά παραγόντων και ιδιαίτερα των ακραίων θερμοκρασιών και σε συνδυασμό με το νερό που εισέρχεται στα πετρώματα (Τεχνική έκθεση-Δασαρχείο Τρικάλων, 2013).



**Εικόνα 2.4:** Χείμαρρος Μουτσιαρίτης (από προσωπικό αρχείο)

### **2.3 Εδαφολογικές συνθήκες**

Το έδαφος ως προϊόν αποσάθρωσης των παραπάνω πετρωμάτων είναι γενικά του τύπου των ορφνών δασικών εδαφών με διαφορετικό βαθμό εκπλύσεως και διαπηλώσεως ανάλογα με το εάν το πέτρωμα περιέχει περισσότερο άργιλο, μαργαϊκό

σχιστόλιθο ή ψαμμίτη, επίσης ανάλογα με τις μικροκλιματικές και τοπογραφικές συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά.

Η μηχανική σύσταση αυτών ποικίλει ανάλογα της διαγένεσης του μητρικού πετρώματος και του ανάγλυφου του εδάφους μεταξύ αμμοαργιλώδες έως αργίλλοαμμώδες είναι βαθύτερα στις θέσεις με ήπιες κλίσεις και λιγότερο βαθύ στις ράχες και τις κορυφογραμμές.

Γενικά οι εδαφικές συνθήκες κρίνονται ως σχετικά δυσμενείς, τα έντονα χαραδρωτικά φαινόμενα και οι μεγάλες κλίσεις συντέλεσαν στην παράσυρση-απόπλυση του εδάφους από πολλά έτη και την εμφάνιση του μητρικού πετρώματος σε αρκετές εκτάσεις (Τεχνική έκθεση-Δασαρχείο Τρικάλων,2013).

Επιπροσθέτως, η διάβρωση των εδαφών στην περιοχή είναι έντονη με αποτέλεσμα να λαμβάνει χώρα μεταφορά και απόθεση τα φερτών υλικών στην κοίτη, σε όλη την έκταση του υδρογραφικού δικτύου. Αξίζει να τονισθεί, πως παρατηρούνται μεγάλες κατολισθήσεις εντός του σχηματισμού του φλύσχη και οι πτώσεις ογκόλιθων εντός των πιο βραχωδών σχηματισμών.

## **2.4 Βλάστηση της λεκάνης**

Η βλάστηση της λεκάνης χαρακτηρίζεται από δασική χορτολιβαδική και ποώδη βλάστηση. Η δασική βλάστηση αναπτύσσεται στη ζώνη της οξυάς (Fagetalia) όπου κυριαρχεί η ένωση *Abietum borisi-regis* και τοπικά εμφανίζονται λείψανα των ενώσεων *Abieti-Fagetum*. Η οξυά εμφανίζεται στα ψηλότερα μέρη των συστάδων όπου και σχηματίζει αμιγείς δασοκομικές ενώσεις. Η ελάτη εμφανίζεται αμιγής στις περισσότερες συστάδες και είναι το κυρίαρχο είδος. Επιπλέον σε μικρό ποσοστό βρίσκονται τα εξής δασικά είδη:

- Δρυς η ευθύφλοια (*Queercus cerris*)
- Δρυς η κοκκοφόρος –πουνάρι (*Queercus. Coccifera*),
- Δρυς η πλατύφυλλη (*Queercus Conferta*),
- Άρκευθος η κοινή (*Juniperus communis*),
- Άρκευθος η οξύκεδρος (*Juniperus oxydedrus*),
- Πλάτανος ο ανατολικός (*Platanus orientalis*)
- Ιτιά η άγρια (*Salix caprea*),
- Σφένδαμος ο πλατανοειδής (*Acer Psendoplatanus*),
- Οστριά (*Ostrya carpinifolia*),
- Γαύρος ο ανατολικός (*Carpinus orientalis*) και
- Κρανιά (*Cornus mass*)

Οι γεωργικές καλλιέργειες στην περιοχή είναι λίγες και αναπτύσσονται σε οριζόντια εδάφη και σε βαθμίδες. Είναι κυρίως παραγωγή καλαμποκιού, πατάτας και οσπρίων. Οι δενδροκομικές καλλιέργειες που υπάρχουν στα αγροκτήματα είναι κυρίως

- αγριοαχλαδιές (*pyrus amygdaliformis*),
- αγριομηλιές (*Malus sylvestris*),
- αγριοκορομηλιές (*Prunus pseudarmeniaca*),
- αγριοδαμασκηνιές (*Prunus spinose*) και
- καρυδιές (*juglans regia*).

Η ποώδης βλάστηση χαρακτηρίζεται κυρίως από:

- κλιματίδες (*clematis vitalba*),
- αγριοτριανταφυλλiές (*rosa sempervirens*)
- βάτα (*Rubus*),
- πελαργόνια (*europaean geranium*),

- ιξούς (*Viscu malbum*),
- κισσός (*Hedera helix*),
- ρίγανη (*Origanum vulgare*),
- σκάρφη (*helleborus cyclophyllus*),
- τσουκνίδα (*Urtica dioica*),
- φτέρη (*Pteridium aquilinum*) και
- χαμοκέρασα (*Fragaria vesca*) (Διαχειριστική έκθεση Δημοσίου Δάσους Αθαμανίας 2016-2025 και Μελέτη διαχείρισης Δημοτικού Δάσους Γαρδικίου 2016-2025).

Τα παραπάνω είδη βλάστησης στη εξεταζόμενη λεκάνη απορροής ασκούν υδρονομική επίδραση που, διαμορφώνουν «τον υδρονομικό συντελεστή». Ο συγκεκριμένος συντελεστής εκφράζει σε κλάσμα της μονάδας, την υδρονομική αξία κάθε τύπου βλάστησης από άποψη προστασίας του εδάφους από την διάβρωση στην ανεξέλεγκτη απορροή. Για την συγκεκριμένη περιοχή ο υδρονομικός συντελεστής είναι 0,59 (Τεχνική έκθεση-Δασαρχείο Τρικάλων, 2013).

Ο υδρονομικός συντελεστής γενικά αυξάνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό δασοκάλυψης, δηλαδή η υδρογεωνομική και αντιδιαβρωτική λειτουργία του δάσους στην εκάστοτε εξεταζόμενη περιοχή.

### 3.ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Η Οδηγία 2000/60/EK, για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων ενσωματώνει διάφορες Κοινοτικές Οδηγίες που σχετίζονται με τη διαχείριση του περιβάλλοντος και την προστασία των υδάτων σε διάφορα επίπεδα. Φαίνεται να αποσκοπεί σε μια κατά το δυνατόν ολοκληρωμένη προστασία και ρύθμιση της διαχείρισης των υδατικών πόρων και εύλογα θα μπορούσε να θεωρηθεί ως το βασικότερο θεσμικό εργαλείο που υφίσταται στον τομέα του νερού, τουλάχιστον σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Για την επίτευξη αυτού του προστατευτικού- διαχειριστικού σκοπού θεσπίζεται μια σειρά ρυθμίσεων, που επιχειρούν:

- να επιτύχουν τη διατήρηση ή την αποκατάσταση της καλής κατάστασης των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων,
- να ενοποιήσουν και να συμπληρώσουν την προηγούμενη αποσπασματική ευρωπαϊκή νομοθεσία για τα νερά,
- να ρυθμίσουν τη διαχείριση των υδατικών πόρων σε επίπεδο υδατικής περιφέρειας (περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού), η οποία νοείται ότι αποτελείται από μία ή περισσότερες γειτονικές λεκάνες απορροής μαζί με τα υπόγεια και παράκτια ύδατα, ορίζοντας και την αρμόδια για τη διαχείρισή της αρχή,
- να διευκολύνουν σε επίπεδο υδατικής περιφέρειας την υλοποίηση προγραμμάτων – σχεδίων διαχείρισης,
- να εξασφαλίσουν την κοινωνική συναίνεση μέσω της προώθησης των διαδικασιών συμμετοχής των πολιτών, και
- να προωθήσουν ορθολογικές αναλύσεις κόστους.

Η συγκεκριμένη περιοχή είναι γνωστή για το φυσικό κάλλος της και θεωρείται πολύτιμος εθνικός φυσικός πόρος. Για το λόγο αυτό χαρακτηρίστηκε ως το «Εθνικό Πάρκο Τζουμέρκων» με το Προεδρικό Διάταγμα (ΦΕΚ 49/Δ/12.02.2009) και περιλαμβάνει τρεις περιοχές που ανήκουν στο Πανευρωπαϊκό Δίκτυο Προστατευόμενων Περιοχών «ΦΥΣΗ 2000» (NATURA 2000): «Όρος Λάκμος (Περιστερί) -GR 2130007», «Όρη Αθαμάνων (Νεράιδα)- GR 2110002» και «Ευρύτερη περιοχή Αθαμανικών Ορέων (Νεράιδα)- GR 2130013»

Ο σκοπός του Προεδρικού Διατάγματος είναι: *«η προστασία, διατήρηση της φύσης και του τοπίου, ως φυσικής κληρονομιάς και πολύτιμου εθνικού πόρου σε τμήματα της περιοχής των ορεινών όγκων των Τζουμέρκων (Αθαμανικών Ορέων), του Περιστερίου (Όρους Λάκμος), της χαράδρας του ποταμού Αράχθου και της ενδιάμεσης αυτών περιοχής, που διακρίνονται για τη μεγάλη βιολογική, οικολογική, αισθητική, επιστημονική, γεωμορφολογική, γεωλογική και εκπαιδευτική τους αξία, με το χαρακτηρισμό τους ως Εθνικό Πάρκο. Ειδικότερα, επιδιώκεται η διατήρηση και ορθή διαχείριση των σπάνιων τοπίων, οικοτόπων και ειδών χλωρίδας και πανίδας που απαντώνται στη συγκεκριμένη περιοχή καθώς και η θεσμοθέτηση διαδικασιών και μέτρων για την εξασφάλιση της αρμονικής συνύπαρξης ανθρώπου και φύσης στο πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης»* (ΦΕΚ 49/Δ/12.02.2009).

Η λεκάνη απορροής του Μουτσιαρίτη βρίσκεται στην Ζώνη ΙΙΙ του Εθνικού πάρκου που είναι: *«οι χερσαίες περιοχές, οι οποίες βρίσκονται στην εκτός και εντός ορίων οικισμών προ του 1923 και κάτω των 2000 κατοίκων των ακόλουθων δήμων και κοινοτήτων: Δ.Αγνάντων, Δ. Αθαμανίας, Κ. Μελισσουργών, Κ.Θεοδοριάνων (ΠΕ Άρτας), Δ. Εγνατίας, Δ. Κατσανοχωρίων, Δ. Μετσόβου, Δ.Παμβώτιδας, Δ. Πραμάντων, Δ. Τζουμέρκων Κ Βαθυπεδίου, Κ. Καλαρρυτών, Κ. Ματσουκίου, Κ. Συρράκου, (ΠΕ*



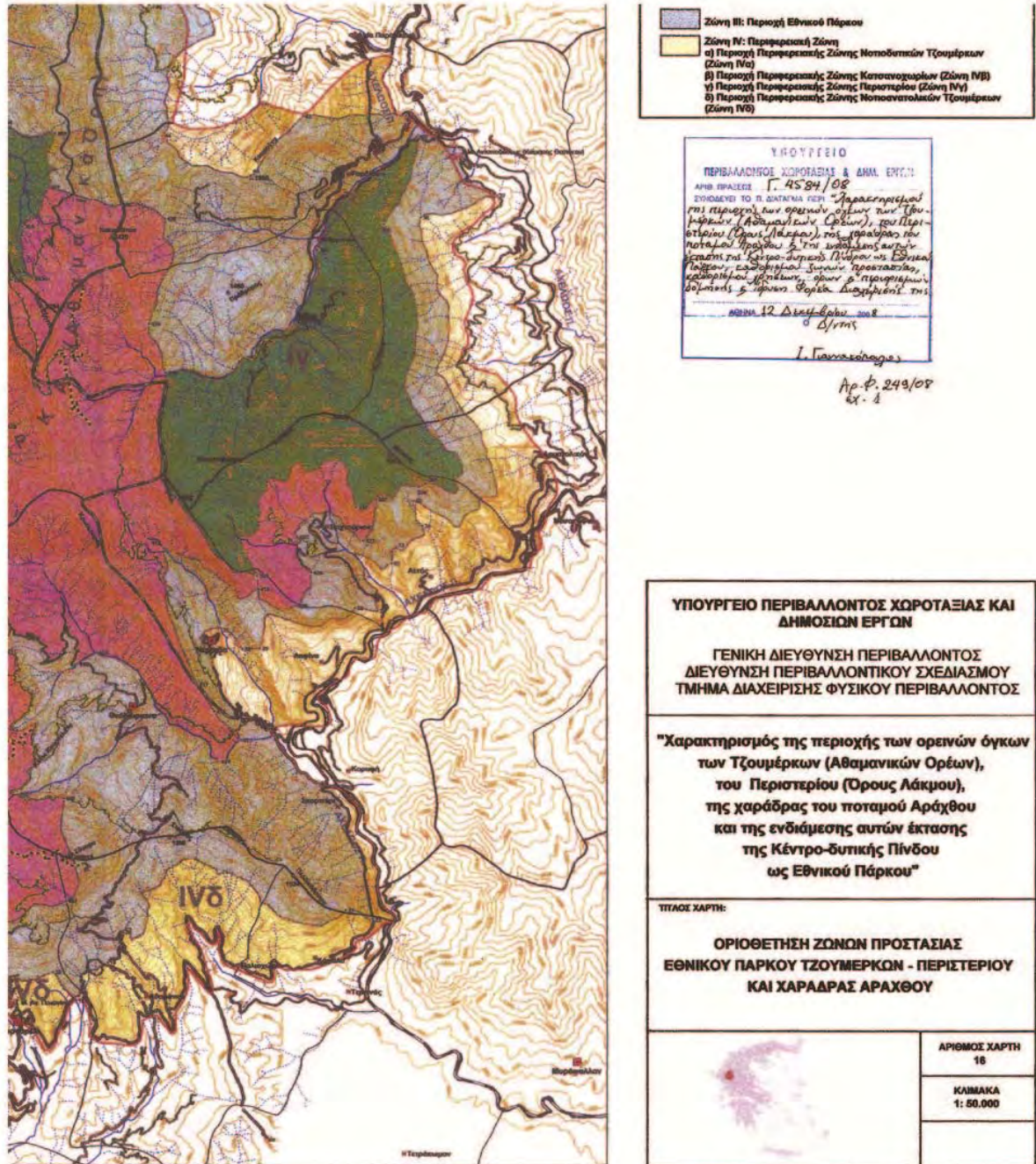
*Ιωαννίνων) και Δ. Αιθίων, Κ. Ασπροποτάμου Κ. Νεράιδας (ΠΔ Τρικάλων), όπως τα όριά τους φαίνονται στο προτότυπο διάγραμμα της παραγράφου Ι του παρόντος άρθρου.»*  
(ΦΕΚ 49/Δ/12.02.2009)

Συγκεκριμένα, στο Προεδρικό Διάταγμα εξεταζόμενη περιοχή βρίσκεται στο ΠΠΦ Παχτουρίου-Αθαμανίας (ΖΩΝΗ ΙΓ) όπως προκύπτει από την παρακάτω περιγραφή (ΦΕΚ 49/Δ/12.02.2009):

- 300-301:Με σημείο αφετηρίας την κορυφή Φούρκα (2092 μ), (όρια Περιφερειακή Ενότητα Άρτας και Τρικάλων) ακολουθεί χαρακτηριστική κορυφογραμμή με νοτιοανατολική κατεύθυνση έως την ισοϋψή των 1400μ.
- 301-302:Στην συνέχεια και με γενική κατεύθυνση ανατολική ακολουθεί την ισοϋψή των 1400 έως τη θέση Σταυρός. ΚΔ Παχτουρίου.
- 302-303:Ανέρχεται στην ισοϋψή των 1500μ.
- 303-304:Ακολουθεί με γενική κατεύθυνση ανατολική την ισοϋψή των 1500μ έως τη θέση Αλώνι Ρουμουσιού, ΚΔ Αρματολικού.
- 304-305:Ανέρχεται στην ισοϋψή των 1600μ.
- 305-306:Ακολουθεί την ισοϋψή των 1600μ με γενική κατεύθυνση βόρεια έως ότου συναντήσει την κορυφογραμμή της Μακρυάς ράχης, η οποία χωρίζει τη λεκάνη απορροής του Μουτσαρίτικου ποταμού από τον κυρίως Ασπροπόταμο.
- 306-307:Κατηφορίζει με κατεύθυνση βορειοανατολικά έως ότου συναντήσει την κοίτη του Μουτσαρίτικου ποταμού.
- 307-308:Ακολουθεί την κοίτη του Μουτσαρίτικου ποταμού προς τα ανάντη με κατεύθυνση νοτιοδυτική έως τον οικισμό της Αθαμανίας.
- 308-309:Ακολούθως, συνεχίζει προς τα ανάντη στον κυρίως (δυτικό) βραχίονα του ποταμού, με νοτιοδυτική κατεύθυνση, έως την τοποθεσία Αλογάρης.



- 309-310: Στρέφεται νότια και ανηφορίζει χαρακτηριστική ράχη με την ονομασία Μακρυά ράχη, η οποία και καταλήγει στην κορυφή Φούρκα (2092μ) όπου και ενώνεται με το σημείο 300.»



**Εικόνα 3.1:** Απόκομμα του χάρτη του Εθνικού Πάρκου Τζουμέρκων, που αφορά τη ζώνη III

## **4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

### **4.1 Επεξεργασία**

Η σύνταξη και η γεωαναφορά τους καθώς και όλη η γεωμορφολογική ανάλυση έγινε με το λογισμικό autoCAD 2004 στους χώρους του Δασαρχείου Τρικάλων. Το AutoCAD είναι μια από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές γενικής σχεδίασης που χρησιμοποιείται από ποικίλες ειδικότητες, συμπεριλαμβανομένων δασολόγων, και τοπογράφων μηχανικών, που ασχολούνται με υδρολογία.

Από κοινές φωτογραφικές μηχανές ή σκαναρισμένες αεροφωτογραφίες, δορυφορικούς αισθητήρες ή σαρωμένους χάρτες εξάγουμε εικόνες των οποίων τα δεδομένα εμπεριέχουν με άμεσο ή έμμεσο τρόπο τη γεωγραφική θέση των απεικονισμένων αντικειμένων. Τα δεδομένα raster παρέχουν τεράστιο όγκο γεωγραφικής πληροφορίας αλλά η τοποθέτηση του στο γεωγραφικό χώρο (γεωαναφορά) θα πρέπει να γίνει πολύ με μεγάλη προσοχή. Πρέπει τα δεδομένα να μη παρουσιάζουν σημαντικά σφάλματα, όχι τουλάχιστον μεγαλύτερα από αυτά που εισάγονται λόγω της κλίμακας του τελικού παραγομένου χαρτογραφικού-τοπογραφικού προϊόντος (Τσιούκας, 2014).

### **4.2 Μορφομετρικά— υδρογραφικά χαρακτηριστικά**

Για την οριοθέτηση και την γεωμορφολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:50.000 (Φύλλα, Καστανέα, Μυρόφυλλον, Πράμαντα και Άγναντα) από το Δασαρχείο Τρικάλων. (Εικόνα 4.1)



## ΠΡΑΜΑΝΤΑ



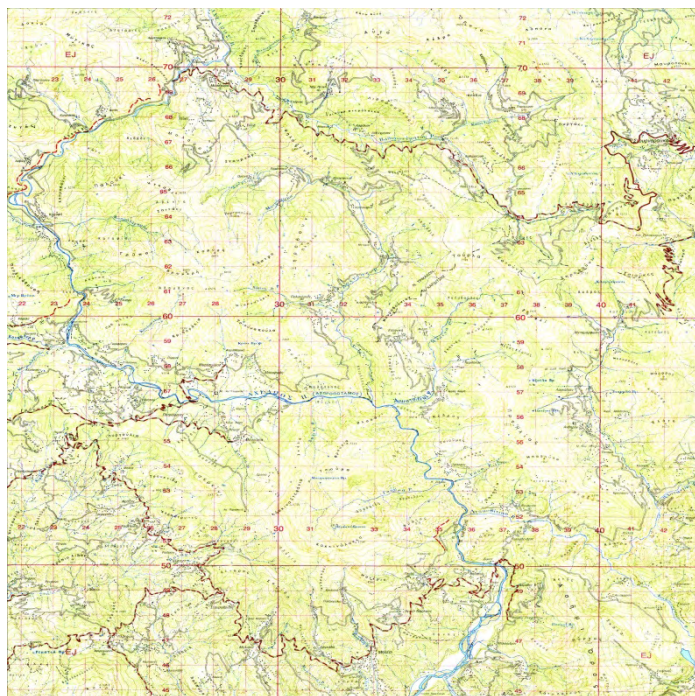
## ΚΑΣΤΑΝΕΑ



## ΑΓΝΑΝΤΑ



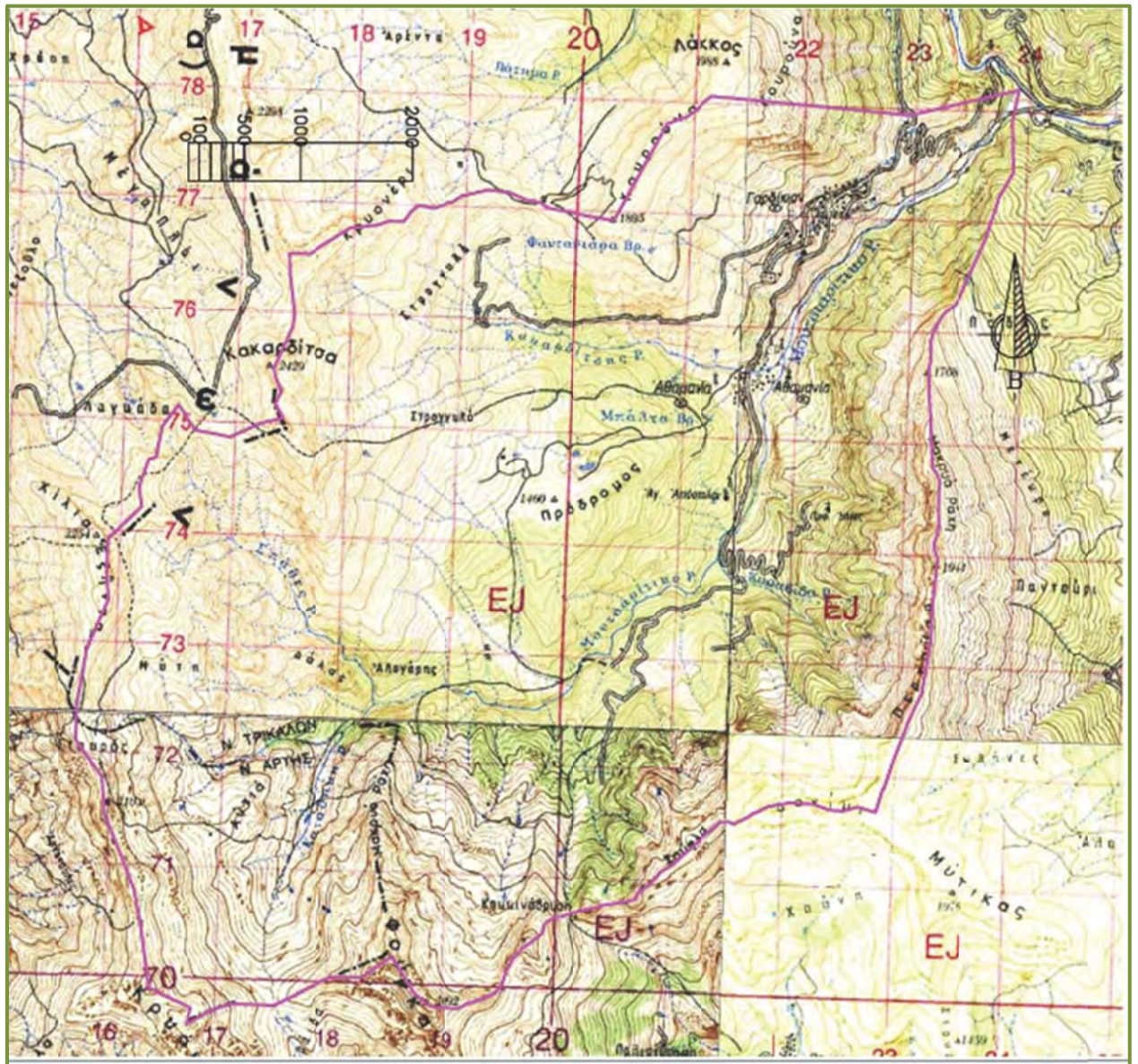
## ΜΥΡΟΦΥΛΛΟΝ



**Εικόνα 4.1:** Οι χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν: Καστανέα, Μυρόφυλλον, Πράμαντα και Αγναντα



Πραγματοποιήθηκε επαναπροσδιορισμός του υδροκρίτη της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη ποταμού (Σχήμα 4.1).



**Σχήμα 4.1:** Επαναπροσδιορισμός υδροκρίτη της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη ποταμού.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του ψηφιακού χάρτη της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη ποταμού. Χαράχτηκαν οι ισοϋψείς καμπύλες με

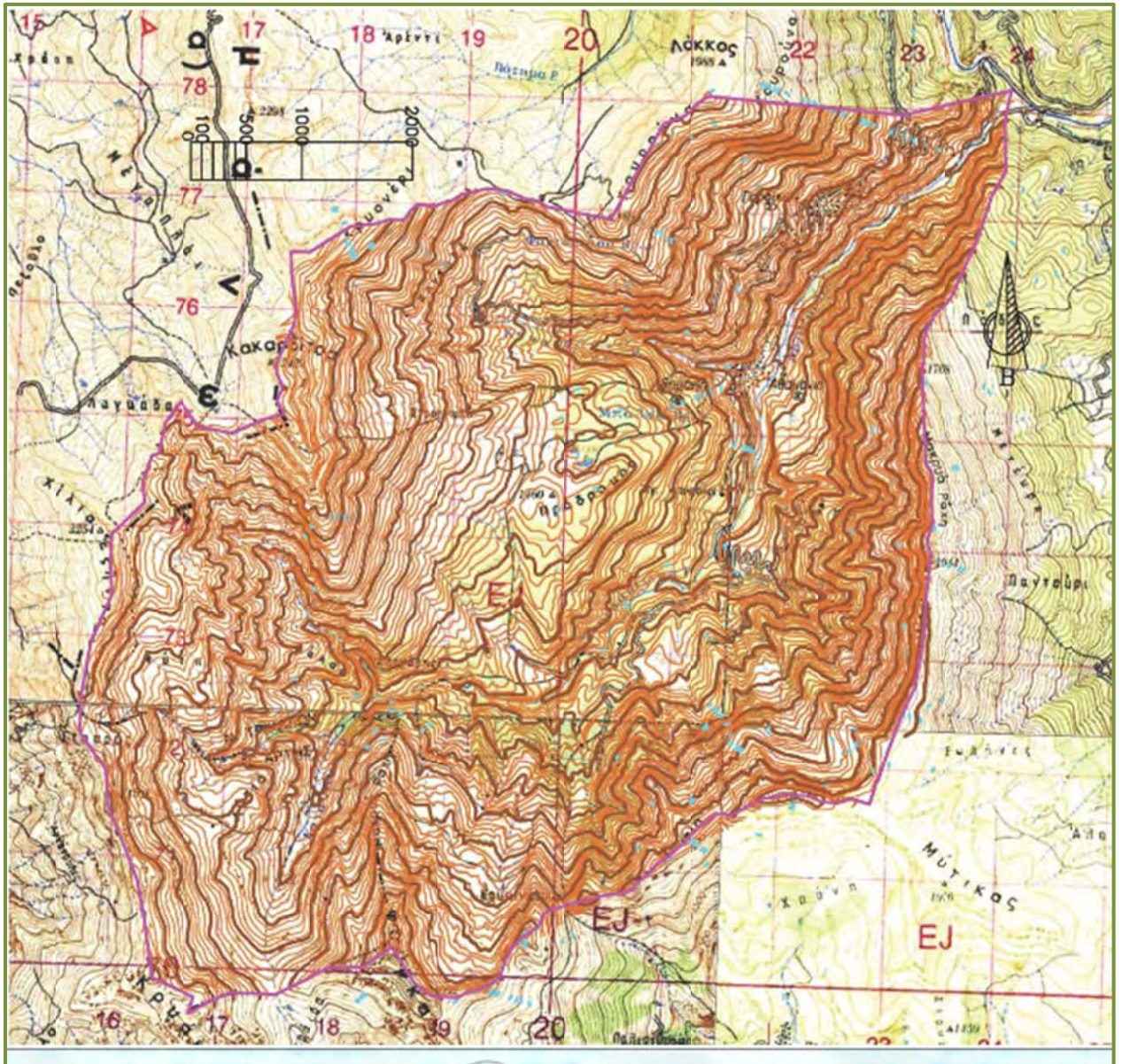


ισοδιάσταση 20 m. Αρχικά, χαράχτηκαν οι κύριες ισοϋψείς με ισοδιάσταση 100m και οι ενδιάμεσες των 20m (Σχήματα 4.2 και 4.3)



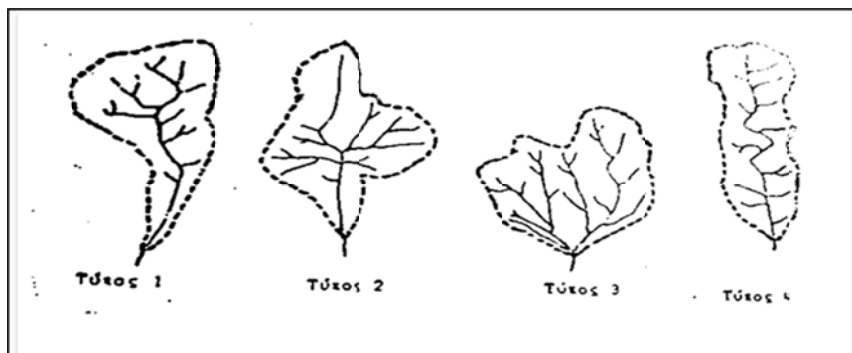
**Σχήμα 4.2:** Οι κύριες ισοϋψείς καμπύλες της λεκάνης Απορροής





**Σχήμα 4.3:** Οι κύριες και οι ενδιάμεσες ισοϋψείς καμπύλες της λεκάνης απορροής

Η μορφή της λεκάνης απορροής βασίζεται στην κατηγοριοποίηση του Gavrilovic, ο οποίος όρισε τις τυπικές μορφές των λεκανών απορροής (Εικόνα 4.2)



**Εικόνα 4.2:** Τυπικές μορφές λεκανών απορροής κατά Gavrilovic (1972)

#### Εμβαδό λεκάνης απορροής

Με τη χρήση του autoCAD 2004 υπολογίστηκε το εμβαδόν (F) της λεκάνης .

#### Περίμετρος λεκάνης απορροής

Με τη χρήση του autoCAD 2004 υπολογίστηκε η περίμετρος (U) της λεκάνης.

#### Βαθμός στρογγυλομορφίας

Υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο: (Στεφανίδης, 2004)

$$B = \frac{F}{U} \quad (\text{Εξίσωση 4.1})$$

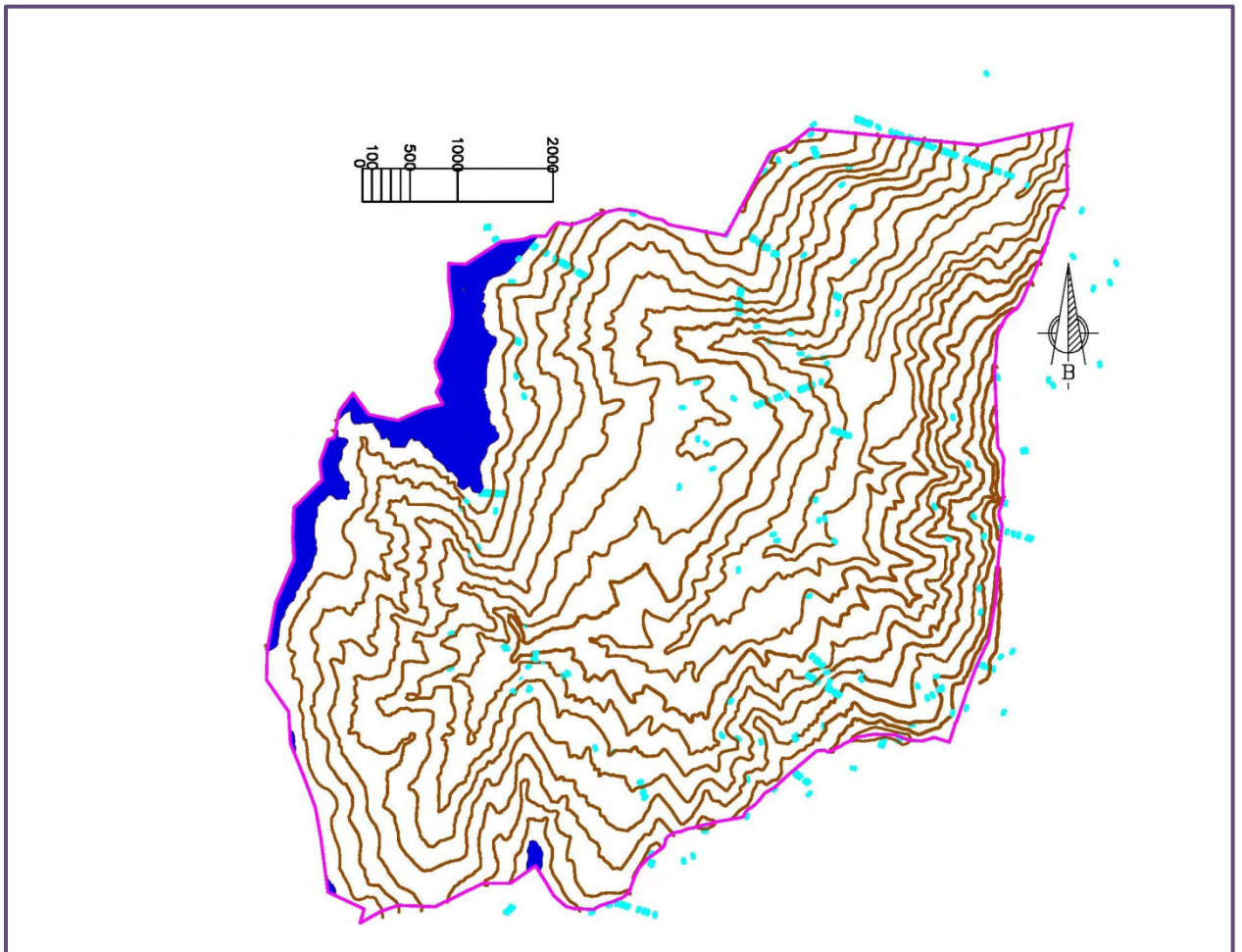
όπου:

F: το εμβαδόν της λεκάνης απορροής ( km<sup>2</sup>)

U: η περίμετρος της λεκάνης ( km)

#### Μέγιστο χειμαρρικό υψόμετρο Hx

Είναι το υψόμετρο στο χώρο της λεκάνης πάνω από τον οποίο περιλαμβάνεται μια έκταση ίση με το 3-5% του εμβαδού της λεκάνης. Ψηφιοποιήθηκαν στο AutoCAD2004 ισοϋψείς καμπύλες μέχρι το εμβαδόν του σχηματιζόμενου πολυγώνου να είναι το 3-5% του συνολικού εμβαδού. Η ισοϋψής καμπύλη που ταιριάζει σε αυτήν την περιγραφή είναι και το μέγιστο χειμαρρικό υψόμετρο (Στεφανίδης, 2004) (Σχήμα 4.4)



**Σχήμα 4.4:** Χάρτης με το μέγιστο χειμαρρικό υψόμετρο

#### Μέγιστο ανάγλυφο $H_r$

Είναι η διαφορά μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου υψομέτρου της λεκάνης. Υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο: (Στεφανίδης, 2004)



$$H_r = H_{\max} - H_{\min} \text{ (m)} \quad (\text{Εξίσωση 4.2})$$

όπου:

$H_{\max}$ : το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (m)

$H_{\min}$ : το ελάχιστο υψόμετρο της λεκάνης (m)

#### Μέση κλίση λεκάνης $J_I$

Δίνεται από τον παρακάτω τύπο: (Στεφανίδης, 2004)

$$J_I = \Delta H * \Sigma I / F * 100 \quad (\text{Εξίσωση 4.3})$$

όπου:

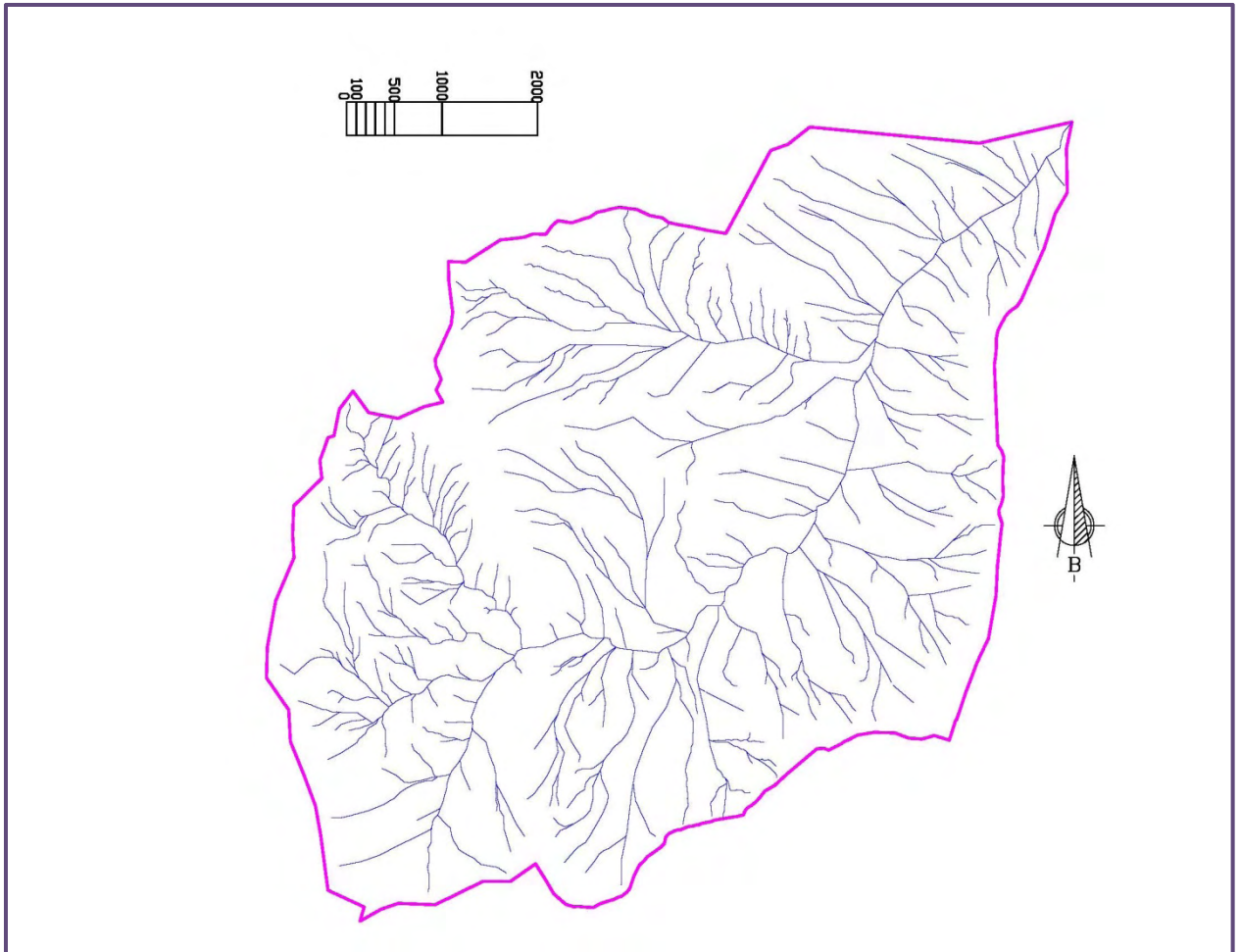
$J_I$ : μέση κλίση λεκάνης απορροής (%)

$\Delta H$ : ισοδιάσταση των ισοϋψών καμπυλών (km)

$\Sigma I$ : το άθροισμα των μηκών όλων των ισοϋψών καμπυλών (Km)

$F$ : το εμβαδόν της λεκάνης απορροής ( $\text{Km}^2$ )

Αποτυπώθηκε το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης σύμφωνα με το ανάγλυφο της περιοχής. (Σχήμα 4.5)



**Σχήμα 4.5:** Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη ποταμού

#### Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου

Είναι ο λόγος μεταξύ του συνολικού μήκους των κλάδων σε μια λεκάνη προς το εμβαδόν της παραπάνω λεκάνης απορροής. Εκφράζει το μήκος του υδρογραφικού δικτύου στη μονάδα επιφάνειας της λεκάνης. (Στεφανίδης, 2004)

$$D = \frac{SL}{F} (km/km^2) \quad (\text{Εξίσωση 4.4})$$

όπου :

D: η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου ( $km/km^2$ )

SL: το συνολικό μήκος των ρευμάτων της λεκάνης (km)

F: το εμβαδόν της λεκάνης απορροής ( $km^2$ )

### Μήκος κεντρικής κοίτης

Το μήκος της κεντρικής κοίτης υπολογίστηκε τη χρήση του autoCAD 2004.

### Μέση κλίση κεντρικής κοίτης

Δίνεται από τον παρακάτω τύπο: (Στεφανίδης, 2004)

$$J_K = \Sigma(L \cdot J_s) / \Sigma L \text{ (Εξίσωση 4.5)}$$

όπου:

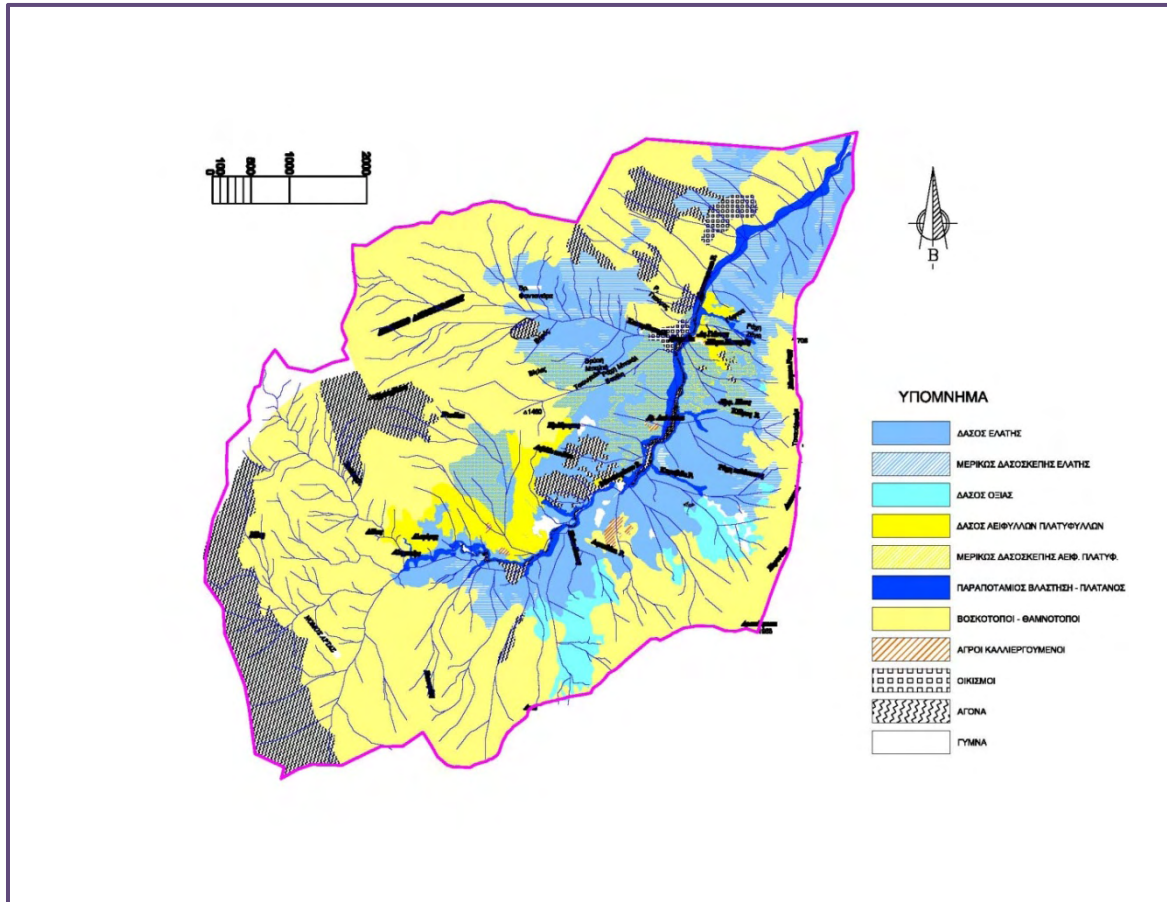
$J_K$ : Μέση κλίση της κοίτης (%)

$L$ : Οριζόντια μήκος της κοίτης με ορισμένη σταθερή κλίση (m)

$\Sigma L$ : Άθροισμα επί μέρους μηκών της κοίτης

## **4.3 Χρήση γης**

Έγινε επαναπροσδιορισμός του χάρτη της χρήσης με το λογισμικό autoCAD 2004 (Σχήμα 4.6). Χρησιμοποιήθηκαν οι δασοπονικοί χάρτες της χρήσης γης του Δημοσίου δάσους Αθαμανίας, του Δημοτικού Δάσους Γαρδικίου και του Δημοσίου δάσους Μελισσουργών. Παρατηρώντας την κατανομή των χρήσεων γης είναι φανερό ότι περισσότερη έκταση καταλαμβάνουν οι θαμνότοποι και οι βοσκότοποι, ακολουθούν δασικές εκτάσεις ποικίλων ειδών, επόμενη θέση καταλαμβάνουν οι άγονες εκτάσεις, στη συνέχεια η παραποτάμια βλάστηση ακολουθούν οι αγροί ενώ αμελητέο ποσοστό έκτασης έχουν οι οικισμοί της Αθαμανίας και το Γαρδικίου. Οι παραπάνω διαπιστώσεις είναι σημαντικές για τον προσδιορισμό του συντελεστή CN όπως ορίζεται στο κεφάλαιο 6.1.



**Σχήμα 4.6:** Ο χάρτης της χρήσης γης της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη ποταμού

**Πίνακας 4.1:** Κατανομή χρήσεων της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	ΕΚΤΑΣΗ (km <sup>2</sup> )	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Άγωνα	5,401	11,6
Αγροί	0,724	1,6
Μερικώς δασοσκεπής αείφυλλα -πλατύφυλλα- με άτομα ελάτης	3,329	7,2
Δάσος ελάτης	6,609	14,2
Δάσος οξιάς	1,298	2,8
Παραποτάμια Βλάστηση	0,758	1,6
Δάσος-Πλατύφυλλων	0,608	1,3
Μερικώς Δασοσκεπής ελάτης	3,379	7,3
Οικισμοί	0,368	0,8

Θαμνότοποι-Βοσκότοποι	22,946	49,3
Γυμνά	1,089	2,3
ΣΥΝΟΛΟ	46,509	100,0

## 5. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Για τη μελέτη του υδατικού ισοζυγίου πρέπει να γνωρίζουμε τα εξής:

1. Την έκταση της λεκάνης απορροής όπως αυτή υπολογίστηκε με τη χρήση του λογισμικού autoCAD 2004

2. Το μέσο σταθμισμένο υψόμετρο της λεκάνης απορροής

Το μέσο σταθμισμένο υψόμετρο της λεκάνης υπολογίστηκε από τον παρακάτω τύπο (Στεφανίδης, 2006 Εξίσωση 5.1):

$$H_{med} = \frac{\sum (l_i * H_i)}{\sum l_i} \quad (\text{Εξίσωση 5.1})$$

όπου:

$H_{med}$ : Εκφράζει το μέσο το γεωμετρικού κέντρου της λεκάνης απορροής

$l_i$ : Το μήκος μιας ισοϋψούς καμπύλης

$H_i$ : Το υψόμετρο της αντίστοιχης ισοϋψούς καμπύλης

3. Το υψόμετρο του μετεωρολογικού σταθμού

Συγκεντρώθηκαν και επεξεργάστηκαν, για τα έτη 2010-2017, τα μετεωρολογικά δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό, του Δασαρχείου του Πανεπιστημιακού Δάσους Περτουλίου (ΑΠΘ). Στην ορεινή ζώνη περιφερειακής ενότητας Τρικάλων είναι ο πλησιέστερος μετεωρολογικός σταθμός οποίος βρίσκεται σε υψόμετρο 1180m, γεωγραφικό πλάτος  $39^{\circ} 35'$  και γεωγραφικό μήκος  $21^{\circ} 35'$  και απέχει από τη λεκάνη 28,142 km. (<http://gis.ktimanet.gr> ΕΚΧΑ ΑΕ). Ο συγκριμένος είναι ο μοναδικός

σταθμός που έχει συνεχόμενα δεδομένα από το έτος λειτουργίας του το 1960 με μετρήσεις τρεις (3) φορές την ημέρα (8.00-14.00-20.00).

Τα δεδομένα που εξεργάστηκαν είναι τα παρακάτω:

- Μηνιαίο ύψος κατακρημνισμάτων (P)mm
- Μέση μηνιαία θερμοκρασία (T) °C

#### 4. Τη βροχοβαθμίδα

Για τον υπολογισμό της βροχοβαθμίδας επιλέχτηκε η ακόλουθη συνάρτηση (Εξίσωση 5.2-Στάθης, 1998):

$$Y=1453,39+0,309X \text{ ( } r=0,27 \text{ )} \quad \text{(Εξίσωση 5.2)}$$

Σύμφωνα με την εξίσωση η τιμή της βροχοβαθμίδας θεωρείται: 30,9/100m

Ο υπολογισμός της μεταβολής των κατακρημνισμάτων με βάση το υψόμετρο παρουσιάζει δυσκολίες, επειδή σε κάθε περιοχή επικρατούν διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Οι παράγοντες, που επηρεάζουν το κλίμα μιας περιοχής και, κατά συνέπεια, τη μεταβολή κατακρημνισμάτων, είναι η απόσταση από τη θάλασσα, η τοπογραφική διαμόρφωση, η κλίση του εδάφους, η έκθεση της περιοχής στους ανέμους που επικρατούν, η βλάστηση. Είναι γνωστό ότι οι υετοφόρες αέριες μάζες κινούνται κατά κανόνα με συγκεκριμένη διεύθυνση. Έτσι για παράδειγμα, περιοχές που έρχονται πρώτες σε επαφή με τις υετοφόρες αέριες μάζες, δέχονται υψηλότερα ποσά κατακρημνισμάτων σε σύγκριση με πιο απομακρυσμένες περιοχές (Στάθης 1998).

Ως εκ τούτου, δεν πρέπει να θεωρούνται απαραίτητα φυσικώς εσφαλμένες ή παράξενες τυχόν στρεβλώσεις μοντέλων, που παρουσιάζουν υψομετρικά χαμηλότερες περιοχές να έχουν μεγαλύτερο ύψος κατακρημνισμάτων από εκείνες που βρίσκονται σε σημαντικά μεγαλύτερο υψόμετρο. Αυτό ακριβώς παρατηρούμε ότι συμβαίνει στη

λεκάνη απορροής του Μουτσιαρίτη επειδή βρίσκεται στη Ν. Πίνδο, όπου οι υγρές αέριες μάζες που κατευθύνονται από τη Δ. Ελλάδα έρχονται σε επαφή σχετικά γρήγορα με την εν λόγω περιοχή. Εξαιτίας του ανάγλυφου εγκλωβίζονται στα ορειογραφικά συμπλέγματα και αυξάνουν το ύψος των κατακρημνισμάτων που δέχεται η περιοχή ανεξαρτήτως του υψόμετρου.

Ωστόσο, δεν είναι δυνατόν να γίνουν γενικώς δεκτά μοντέλα που εμφανίζουν τη βροχοβαθμίδα να μειώνεται με το υψόμετρο, καθώς τέτοια μοντέλα θα ήταν τοπικά εντελώς περιστασιακού (ad hoc) χαρακτήρα, κι επομένως εξαιρετικά περιορισμένης γεωγραφικής εφαρμοσιμότητας. Για το λόγο αυτόν, γίνονται δεκτά γραμμικά μοντέλα που προκύπτουν από τέτοιες τιμές ώστε να περιγράφουν τη γενική αυξητική τάση της βροχοβαθμίδας ανάλογα με το υψόμετρο.

##### 5. Τη θερμοβαθμίδα

Η τιμή της θερμοβαθμίδας για την συγκεκριμένη περιοχή λήφθηκε  $-0,7/100$  °C (Στάθης 1998).

Ακολουθούν τα βήματα που πραγματοποιήθηκαν:

**Βήμα 1: Υπολογισμός του μέσου ανοιγμένου ύψους κατακρημνισμάτων της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη.**

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος (Εξίσωση 5.3, Ψιλοβίκος 2016)

$$P_k = P_{T(k)} - \frac{DH^*a}{100} \quad (\text{Εξίσωση 5.3})$$

όπου:

$P_k$  το μέσο ανοιγμένο ετήσιο ύψος των κατακρημνισμάτων (συνθετικό) στο μέσο υψόμετρο της (Κ.Β) λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη σε mm.



$P_{T(k)}$  το μέσο ετήσιο ύψος των κατακρημνισμάτων στο σταθμό του Περτουλίου ΑΠΘ για τα έτη 2010-2017, σε mm.

$\alpha$  η βροχοβαθμίδα (μεταβολή του ύψους των κατακρημνισμάτων σε mm/100m αύξηση του υψομέτρου)

DH διαφορά υψομέτρου του Μ.Σ Περτουλίου Α.Π.Θ και του υψομέτρου μέσου υψομέτρου της λεκάνης σε m (τιμή <0)

**Βήμα 2: Αναγωγή από τις ετήσιες στις μηνιαίες τιμές των κατακρημνισμάτων στο Κ.Β. της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη.**

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω τύπος (Εξίσωση 5.4-Ψιλοβίκος 2016)

$$P_i^k = \frac{P_k * P_{T(i)}^k}{P_{T(k)}} \quad (\text{Εξίσωση 5.4})$$

όπου:

$P_i^k$  το μηνιαίο ύψος βροχής, ανηγμένο (συνθετικό) στο Κ.Β. της λεκάνης, για το μήνα i στο έτος k σε mm.

$P_{T(i)}^k$  το μηνιαίο ύψος βροχής στο σταθμό του Περτουλίου ΑΠΘ, κατά το μήνα I και το έτος k σε mm.

**Βήμα 3: Υπολογισμός της μέσης μηνιαίας ανηγμένης θερμοκρασίας στο Κ.Β. της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη**

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος τύπος (Εξίσωση 5.5-Ψιλοβίκος 2016):

$$T_k = T_{T(k)} - \frac{DH * b}{100} \quad (\text{Εξίσωση 5.5})$$

$T_k$  η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας, ανηγμένη (συνθετική) στο Κ.Β. της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη σε  $^{\circ}\text{C}$

$T_{T(k)}$  η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας στο σταθμό του Περτουλίου ΑΠΘ σε  $^{\circ}\text{C}$

$DH$  διαφορά υψομέτρου του Μ.Σ Περτουλίου Α.Π.Θ και του υψομέτρου μέσου υψομέτρου της λεκάνης σε m (τιμή  $<0$ )

$b$  η θερμοβαθμίδα (μεταβολή της θερμοκρασίας σε  $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  αύξηση του υψομέτρου)

**Βήμα 4: Αναγωγή από τις ετήσιες στις μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας στο Κ.Β της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη.**

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος τύπος (Εξίσωση 5.6-Ψιλοβίκος 2016):

$$T_i^k = \frac{T_{k*} T_{T(i)}^k}{T_{T(k)}} \quad (\text{Εξίσωση 5.6})$$

$T_i^k$  η μηνιαία θερμοκρασία ανηγμένη (συνθετική) στο Κ.Β. της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη, κατά το μήνα I και κατά το έτος K σε  $^{\circ}\text{C}$

$T_{T(i)}^k$  η μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας στο Μ.Σ. Περτουλίου ΑΠΘ κατά το μήνα I και κατά το έτος K σε  $^{\circ}\text{C}$

**Βήμα 5: Υπολογισμός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Thornthwaite (απλουστευμένος τύπος με βάση της μετρημένες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας. (Εξίσωση 5.7) (Ψιλοβίκος, 2016).**

$$ETp_i^k = 16 * L_d * \left( \frac{10 * T_i^k}{I^k} \right)^a \quad (\text{Εξίσωση 5.7})$$

$ETp_i^k$  η δυνητική εξατμισοδιαπνοή σε mm/μήνα  $i$  του έτους  $k$  (μήνας τριάντα (30) ημερών)

$T_i^k$  η μηνιαία θερμοκρασία του μήνα  $I$  σε  $^{\circ}\text{C}$ , ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής για το έτος  $k$ .

$I^k$  δείκτης θερμοκρασίας, για το έτος  $k$ , που δίνεται από την παρακάτω σχέση (Εξίσωση 5.8, Ψιλοβίκος, 2016):

$$I^k = \sum_{n=1}^{12} \left( \frac{T_i^k}{5} \right)^{1,514} \quad (\text{Εξίσωση 5.8})$$

$$\alpha = 0,000000675 * I^3 - 0,000077 * I^2 + 0,01792 * I + 0,49239$$

$L_d$ : διορθωτικός συντελεστής για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

Εξαιτίας της κλιματικής διαφοράς ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος χρησιμοποιούνται οι διορθωτικοί συντελεστές του παρακάτω πίνακα διπλής εισόδου. (Εικόνα 5.1, Στεφανίδης, 2006). Στην περίπτωση της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής οι αντιστοιχούν οι μηνιαίες τιμές στο γεωγραφικό πλάτος  $39^{\circ}$ .

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΝΑΡΗΣ	ΦΕΒΡΑΡΙΟΣ	ΜΑΡΤΙΟΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ
35	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	0,97	0,86	0,85
36	0,86	0,85	1,03	1,09	1,22	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,85	0,84
37	0,86	0,84	1,03	1,10	1,22	1,23	1,25	1,17	1,03	0,97	0,85	0,83
38	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,23	1,25	1,17	1,03	0,96	0,84	0,83
39	0,85	0,83	1,03	1,11	1,23	1,24	1,26	1,18	1,04	0,96	0,84	0,82
40	0,84	0,83	1,03	1,11	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81
41	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,28	1,19	1,04	0,95	0,82	0,80
42	0,82	0,82	1,02	1,12	1,21	1,27	1,29	1,19	1,04	0,95	0,81	0,79

**Εικόνα 5.1:** Τιμές διόρθωσης ( $L_d$ ) της εξατμισοδιαπνοής λόγω γεωγραφικού πλάτους (Στεφανίδης, 2006).

#### **Βήμα 6: Υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής του Μουτσιαρίτη.**

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος τύπος: (Εξίσωση 5.9- Ψιλοβίκος, 2016)

$$\Delta Q_i^k = P_i^k - ET_{p_i}^k \quad (\text{Εξίσωση 5.9})$$

$\Delta Q_i^k$  τελική απορροή, με το πλεόνασμα του νερού του μήνα  $i$  του έτους  $k$  σε mm.

$P_i^k$  σύνολο κατακρημνισμάτων του μήνα  $i$  του έτους  $k$  σε mm.

$ET_{p_i}^k$  δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα  $i$  του έτους  $k$  σε mm.

Με βάση τον παραπάνω τύπο ο υπολογισμός του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής υπολογίστηκε εξετάζοντας τις παρακάτω περιπτώσεις, λαμβάνοντας υπόψη και την τιμή της εδαφικής υγρασίας (Ψιλοβίκος, 2016)

W τιμή εδαφικής υγρασίας

$W_{\max}$  μέγιστη τιμή εδαφικής υγρασίας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$W_{\max} = 25,4 * \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (\text{Εξίσωση 5.10})$$

όπου:

CN: ο απορροϊκός συντελεστής που εξαρτάται από τον υδρολογικό τύπο του εδάφους (ικανότητα διήθησης), την κάλυψη, τη χρήση γης και την προηγούμενη κατάσταση απορροής. Οι τιμές του συγκεκριμένου συντελεστή δίνονται από πίνακες που αφορούν τον εδαφικό τύπο, την κάλυψη του εδάφους και την προηγούμενη εδαφική εργασία. Οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 100 αλλά συνήθως από 30 έως 98 (Ειδική Γραμματεία Υδάτων).

Έτσι, για την υπό εξέταση περιοχή υπολογίστηκε η μέγιστη εδαφική υγρασία και ισούται με:

$$W_{\max} = 93,7 \text{ mm}$$

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της εδαφικής υγρασίας περιγράφεται παρακάτω:

### **1<sup>η</sup> περίπτωση**

Αν το σύνολο των κατακρημνισμάτων του μήνα  $i$  του έτους  $k$  είναι  $P_i^k > ET_{pi}^k$  και εξετάζοντας την εδαφική υγρασία του προηγούμενου μήνα παρατηρήσουμε ότι είναι ίση ή μεγαλύτερη με τη μέγιστη  $W_{\max}$  δηλαδή  $W_{i-1}^k \geq W_{\max}$ , τότε η  $\Delta Q_i^k$  (πλεονάζον νερό) υπολογίζεται από τον τύπο  $\Delta Q_i^k = P_i^k - ET_{pi}^k$ . Είναι η περίπτωση όπου η δυνητική εξατμισοδιαπνοή είναι ίση με την πραγματική εξατμισοδιαπνοή δηλαδή  $ET_{pi}^k = ET_{ri}^k$ .

Σε αυτή την περίπτωση εδαφική υγρασία του τρέχοντος μήνα λαμβάνει τιμή ίση με την τιμή της μέγιστης υγρασίας δηλαδή  $W_i^k = W_{\max}$  (Ψιλοβίκος, 2016)

## **2<sup>η</sup> περίπτωση**

Αν το σύνολο των κατακρημνισμάτων του μήνα  $i$  του έτους  $k$  είναι  $P_i^k > ET_{pi}^k$  και εξετάζοντας την εδαφική υγρασία του προηγούμενου μήνα παρατηρήσουμε ότι είναι:

**α)** μεγαλύτερη από τη τιμή του μηδενός και μικρότερη από την μέγιστη εδαφική υγρασία, δηλαδή  $0 < W_{i-1}^k < W_{\max}$  για να βρούμε την υγρασία του τρέχοντος μήνα εφαρμόζουμε τη σχέση (Εξίσωση 5.11, Ψιλοβίκος, 2016).

$$W_i^k = W_{i-1}^k + (P_i^k - ET_{pi}^k) \quad (\text{Εξίσωση 5.11})$$

Σε περίπτωση που  $P_i^k - ET_{pi}^k > W_{\max} - W_{i-1}^k$  αυτό δηλώνει ότι η εδαφική υγρασία είναι μικρότερη από την υγρασία του προηγούμενου μήνα και κατά συνέπεια αυτό ισχύει και για την απορροή, η τελική απορροή υπολογίζεται από την σχέση (Εξίσωση 5.12, Ψιλοβίκος, 2016)

$$\Delta Q_i^k = P_i^k - ET_{pi}^k - (W_{\max} - W_{i-1}^k) \quad (\text{Εξίσωση 5.12})$$

Σε περίπτωση που δεν ισχύει η σχέση  $P_i^k - ET_{pi}^k > W_{\max} - W_{i-1}^k$  τότε η τελική απορροή ισούται:  $\Delta Q_i^k = 0$

**β)** Στην περίπτωση όπου η εδαφική υγρασία του προηγούμενου μήνα είναι:  $W_{i-1}^k = 0$  τότε η  $\Delta Q_i^k = 0$

Και σε αυτή την περίπτωση, για να βρούμε την εδαφική υγρασία του τρέχοντος μήνα εφαρμόζουμε την εξίσωση 5.11.

### **3<sup>η</sup> περίπτωση**

Αν το σύνολο των κατακρημνισμάτων του μήνα  $i$  του έτους  $k$  είναι  $P_i^k < ETp_i^k$  τότε η τελική απορροή ισούται  $\Delta Q_i^k = 0$  γιατί δεν είναι δυνατό να υπάρχει απορροή όταν τα κατακρημνίσματα έχουν αρνητική τιμή. Η εδαφική υγρασία του τρέχοντος μήνα βρίσκεται από την εξίσωση 5.11. Στην περίπτωση που η εδαφική υγρασία του τρέχοντος μήνα έχει αρνητική τιμή  $W_{i-1}^k = 0$  τότε η εδαφική υγρασία ισούται με  $W_i^k = 0$  (Ψιλοβίκος, 2016).

Εάν το άθροισμα των κατακρημνισμάτων με την υγρασία του προηγούμενου μήνα είναι μικρότερο από την δυνητική εξατμισοδιαπνοή, τότε αυτό ισούται με την πραγματική εξατμισοδιαπνοή (Εξίσωση 5.13) (Ψιλοβίκος, 2016).

$$ET_{ri}^k = P_i^k + W_{i-1}^k < ETp_i^k \quad (\text{Εξίσωση 5.13})$$

### **4<sup>η</sup> περίπτωση**

Αν το σύνολο των κατακρημνισμάτων του μήνα  $i$  του έτους  $k$  είναι  $P_i^k < ETp_i^k$  και η εδαφική υγρασία (βάση της εξίσωσης 5.11) έχει αρνητική τιμή, τότε  $W_i^k = 0$ . Στην περίπτωση αυτή η τελική απορροή:  $\Delta Q_i^k = 0$  και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ισούται με την τιμή του συνόλου των κατακρημνισμάτων (Εξίσωση 5.14) (Ψιλοβίκος, 2016).

$$ET_{ri}^k = P_i^k < ETp_i^k \quad (\text{Εξίσωση 5.14})$$

## **Βήμα 7: Υπολογισμός της απορροής**

Στις περιπτώσεις που έχουμε πλεόνασμα νερού τελική απορροή μήνα  $i$  του έτους  $k$  ( $\Delta Q_i^k$ ) χωρίζεται σε επιφανειακή ( $R_i$ ) και υπόγεια απορροή ( $D_i$ ). Για τον υπολογισμό

των μηνιαίων απορροών χρησιμοποιούμε τους τύπους (Εξίσωση 5.15 και 5.16) (Ψιλοβίκος, 2016).

$$R_i = (1 - \kappa) * \Delta Q_i \quad (\text{Εξίσωση 5.15})$$

$$D_i = \kappa * \Delta Q_i \quad (\text{Εξίσωση 5.16})$$

και  $\kappa = 0,16$

Για να βρούμε την μηνιαίο όγκο απορροής του ποταμού εφαρμόζουμε τον παρακάτω τύπο (Εξίσωση 5.17)

$$V = \frac{\Delta Q * F}{1000} \quad (\text{Εξίσωση 5.17})$$



## 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που παραθέτονται παρακάτω αναφέρονται στον υπολογισμό του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Μουτσιαρίτη καθώς και ο σημαντικός ρόλος του για την περιοχή. Ο χείμαρρος Μουτσιαρίτης στον ποταμό Αχελώο και το υδατικό δυναμικό του χαρακτηρίζεται από έντονες απορροές και πλημμυρικές παροχές, που είναι συνήθως είναι απότομες, βίαιες και ογκώδεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μεταφέρονται προς τα κατάντη μάζες υλικών, από απόψεως όγκου, μεγαλύτερες απ' ότι περισσότερες μέσης και ήπιας μορφής πλημμύρες.

### 6.1 Διηθητικότητα (CN)

Τα εντός του 2.1 και 3.3 υπο-κεφαλαίου αναφερθέντα αποτελούν χρήσιμες πληροφορίες για τον υδρολογικό τύπο της λεκάνης απορροής και κατά συνέπεια την επιλογή του συντελεστή απορροής CN.

**Τύπος Α:** «Εδάφη με μεγάλη τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Βαθιά αμμώδη, βααθιά πηλώδη, συσσωματούμενα ιλυώδη. Εμφανίζουν ελάχιστο ρυθμό διήθησης 0,76-1,14 cm/hr» (Ψιλοβίκος, 2016).

**Τύπος Β:** «Εδάφη με μέτρια τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Ρηχά πηλώδη, αμμοπηλώδη. Εμφανίζουν ελάχιστο ρυθμό διήθησης 0,38-0,76 cm/hr». (Ψιλοβίκος, 2016)

**Τύπος C:** «Εδάφη με μικρή τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Αργιλοπηλώδη, ρηχά αμμοπηλώδη, εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, εδάφη πλούσια σε άργιλο. Εμφανίζουν ελάχιστο ρυθμό διήθησης 0,13-0,38 cm/hr» (Ψιλοβίκος, 2016).

**Τύπος D:** «Εδάφη με πολύ μικρή τελική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Εδάφη τα οποία διογκώνονται όταν υγραίνονται, έχουν μεγάλα περιεκτικότητα σε

μοντρμοριλονιτική άργιλο και ορισμένα αλατούχα εδάφη. Εμφανίζουν ελάχιστο ρυθμό διήθησης 0,00-0,13 cm/h» (Ψιλοβίκος, 2016)

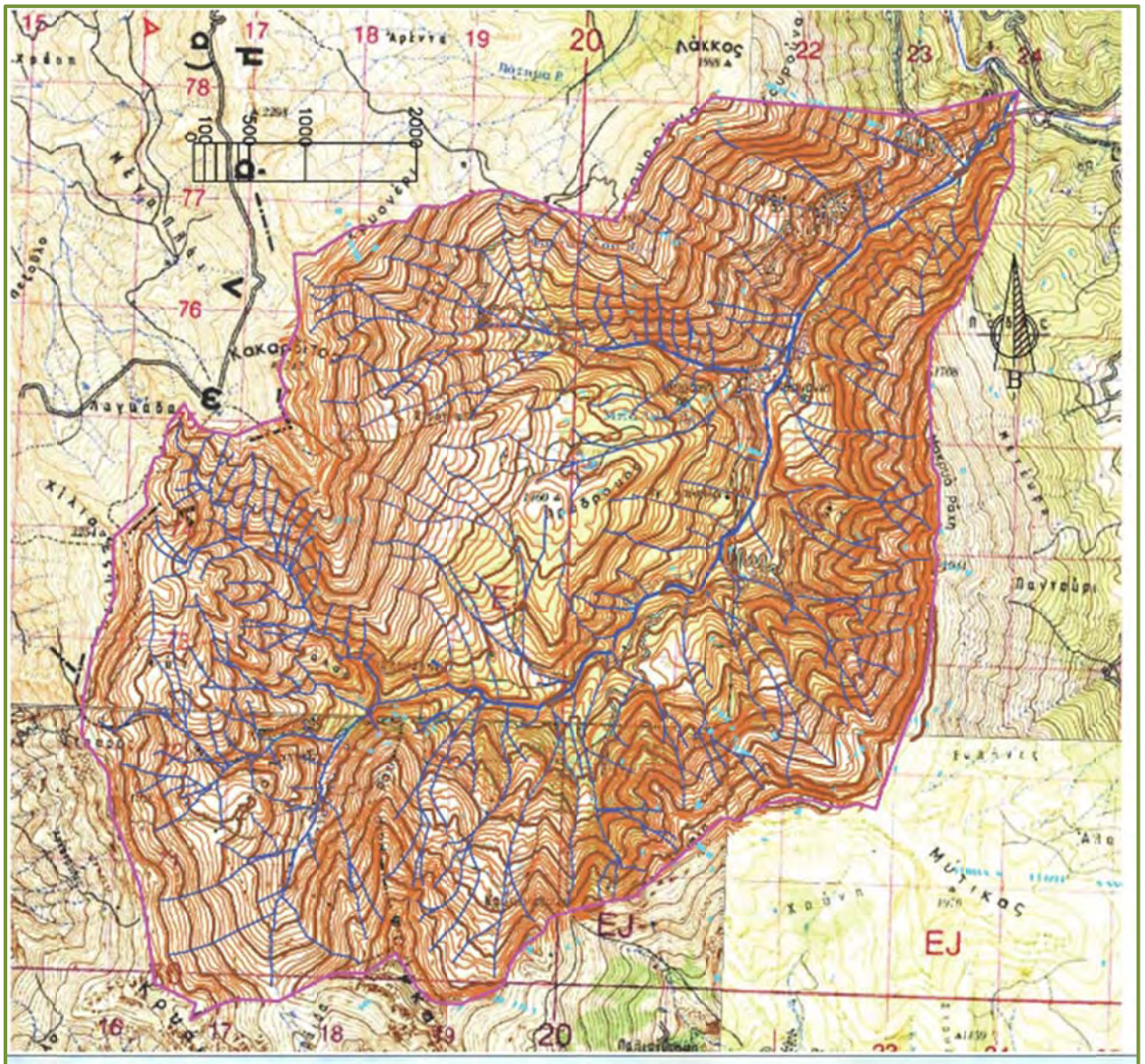
Είναι χρήσιμο να αναφέρουμε ότι εκτός από την υφή των πετρωμάτων, η διήθηση του νερού στα δασικά εδάφη είναι άμεσα εξαρτώμενη από τη δομή τους δηλαδή με πιο τρόπο οι κόκκοι του εδάφους ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν τα συσσωματώματα. Εξαιτίας των ριζών το δασικό έδαφος επιτρέπει ταχύτερη διήθηση του νερού όπου βάση αυτού προτείνεται να κατατάσσεται σε υδρολογικό τύπο με χαμηλότερη απορροή.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω για την εξεταζόμενη περιοχή επιλέχθηκε ο υδρολογικός τύπος C με συγκόμωση 50%-80% και τιμή CN=73 (εικόνα 6.1)

Περιγραφή χρήσης γης/διαχείρισης/ υδρολογικών συνθηκών		Υδρολογικός τύπος			
		A	B	C	D
<b>Βοσκότοποι</b>					
	Δυσμενείς	68	79	86	89
	Μέτριες	49	69	79	84
	Καλές	39	61	74	80
1.Κατά ισοϋψείς	Δυσμενείς	47	67	81	88
2.Κατά ισοϋψείς	Μέτριες	25	59	75	83
3.Κατά ισοϋψείς	Καλές	6	35	70	79
Λιβάδια	Καλές	30	58	71	78
Δάση ή Δασώδης περιοχή	Δυσμενείς	45	66	77	83
	Μέτριες	36	60	73	79
	Καλές	25	55	70	77
Οπωρώνες		59	74	82	86

**Εικόνα 6.1:** Απορροϊκοί συντελεστές CN για περιπτώσεις χρήσης γης (υγρασιακή κατάσταση II) (Wanielista 1978, Τσακίρης 1995, Παπαμιχαήλ 2004, κατά Ψιλοβίκο 2016).

Παρατίθεται ο χάρτης της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Μουτσιαρίτη (Σχήμα 6.1).



**Σχήμα 6.1:** Ο τελικός χάρτης της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Μουτσιαρίτη μετά τον επαναπροσδιορισμό.

## 6.2 Υδρογραφικό δίκτυο

Παρατηρείται ότι το συγκεκριμένο υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικής μορφής. Αυτό δύναται να ερμηνευτεί ως αποτέλεσμα εδαφικής ομογένειας και μη έντονης γεωλογικής δομής (Ψιλοβίκος, 2016).

**Πίνακας 6.1:** Μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά

A/A	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΣΥΜΒΟΛΑ	ΤΙΜΗ
ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΑ			
	Εμβαδόν λεκάνης	F	46508512,2 m <sup>2</sup>
	Μορφή λεκάνης απορροής		τύπος 2
	Περίμετρος	U	30,335484 km
	Βαθμός στρογγυλομορφίας	B	1,53km
	Ελάχιστο υψόμετρο	H <sub>mim</sub>	775m
	Μέγιστο υψόμετρο	H <sub>max</sub>	2429 m
	Μέσο υψόμετρο	H <sub>med</sub>	1560,005626 m.
	Μέγιστο χειμαρρικό υψόμετρο	H <sub>x</sub>	2100 m
	Μέγιστο ανάγλυφο	Hr	654m
	Μέση κλίση λεκάνης		11,99%
ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΑ			
	Μορφή υδρογραφικού δικτύου		Δενδριτική μορφή
	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου	D	4,18km/km <sup>2</sup>
	Μήκος κεντρικής κοίτης	L	9,522km
	Μέση κλίση κεντρικής κοίτης	J <sub>k</sub>	5,65%
	Συνολικό μήκος ρεμάτων λεκάνης	ΣL	194,537km

### 6.3 Κατακρημνίσματα

Ο όγκος των κατακρημνισμάτων υπολογίστηκε σύμφωνα με τις μετρήσεις του Μετεωρολογικού Σταθμού του Δασαρχείου του Πανεπιστημιακού Δάσους Περτουλίου για τα έτη 2010-2017. Από τα δεδομένα του σταθμού υπολογίστηκαν αρχικά το ημερήσιο άθροισμα του ύψους των κατακρημνισμάτων στη συνέχεια το μηνιαίο και τέλος το ετήσιο.

Οι τιμές για το ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων, το μέσο μηνιαίο ύψος κατακρημνισμάτων, και η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι:

- το ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων (P) 1591,6 mm
- το μέσο μηνιαίο ύψος κατακρημνισμάτων 132,6 mm
- μέση ετήσια θερμοκρασία (T) 9,7<sup>0</sup>C

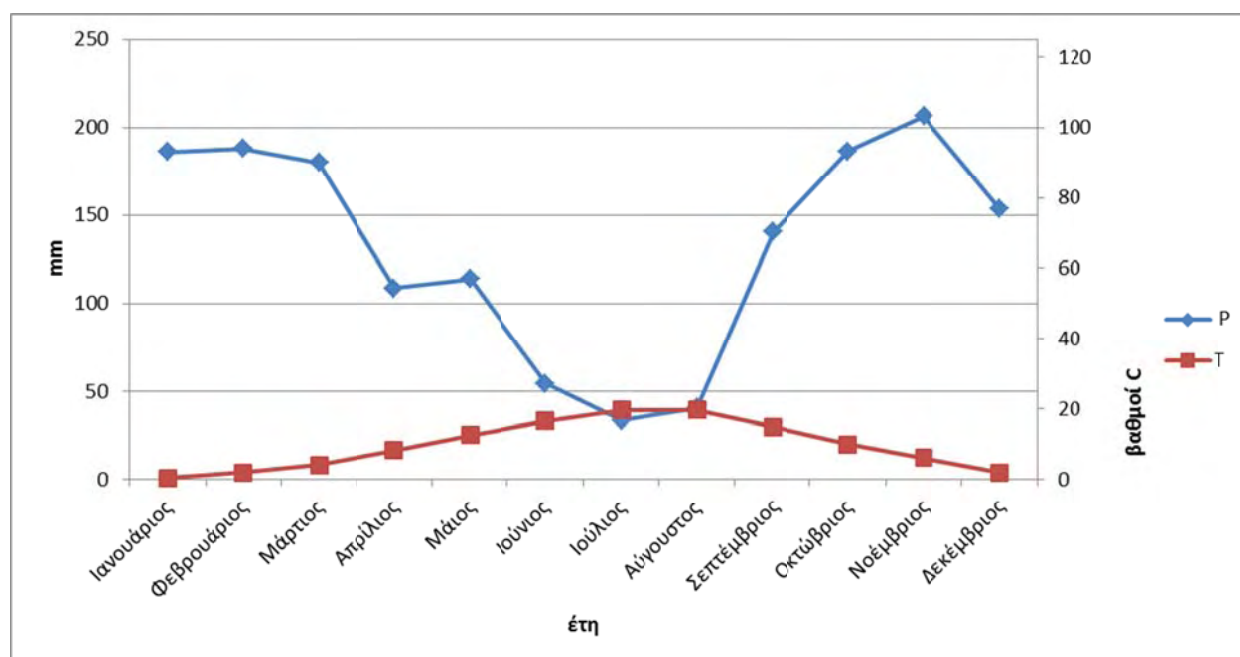
**Πίνακας 6.2:** Κλιματικά δεδομένα περιοχής μελέτης για τα έτη 2010-2017

ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΑ ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΩΝ( mm)	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ (°C)
Ιανουάριος	186,1	0,4
Φεβρουάριος	187,8	1,9
Μάρτιος	180,0	4,1
Απρίλιος	108,7	8,2
Μάιος	114,0	12,6
Ιούνιος	54,5	16,5
Ιούλιος	33,4	19,7
Αύγουστος	40,4	19,7
Σεπτέμβριος	140,3	14,9
Οκτώβριος	186,5	9,9
Νοέμβριος	206,3	6,0
Δεκέμβριος	153,8	1,9
	1591,6	9,7

Από υδρολογική σκοπιά εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η κατανομή των κατακρημνίσεων σε μηνιαίο χρονικό βήμα σε αντιπαραβολή με τις τιμές της μέσης μηνιαίας τιμής. Παραπάνω διαδικασία μας δίνει ενδιαφέρουσες πληροφορίες για τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην υπό εξέταση περιοχή. Η επιτροπή FAO-UNESCO όρισε ως ξηρό τον μήνα στον οποίο το ύψος της βροχόπτωσης είναι μικρότερο του διπλάσιου της μέσης θερμοκρασίας ( $P(mm) < 2T(^{\circ}C)$ ). Κατά την ίδια συλλογιστική οι Gaussen και Bangouls, διαμόρφωσαν το ομβροθερμικό διάγραμμα, όπου μια περίοδος ορίζεται ως ξηρή όταν η καμπύλη των βροχοπτώσεων βρίσκεται χαμηλότερα της καμπύλης των θερμοκρασιών. Ωστόσο αυτή η μέθοδος μειονεκτεί γιατί δε λαμβάνει υπόψη την εδαφική υγρασία ως σημαντική παράμετρο για τον προσδιορισμό της ξηρής περιόδου. Παρόλα αυτά το ομβροθερμικό διάγραμμα αποτελεί

ένα ουσιώδες εργαλείο για την συνδυασμένη περιγραφή των δύο βασικών κλιματικών μεταβλητών, δηλ. τα κατακρημνίσματα και η θερμοκρασία (Καραπάνος 2007).

Στο Σχήμα (6.2) που παρατίθεται παρατηρούμε ότι η ξηροθερμική περίοδος διαρκεί το μήνα Ιούλιο



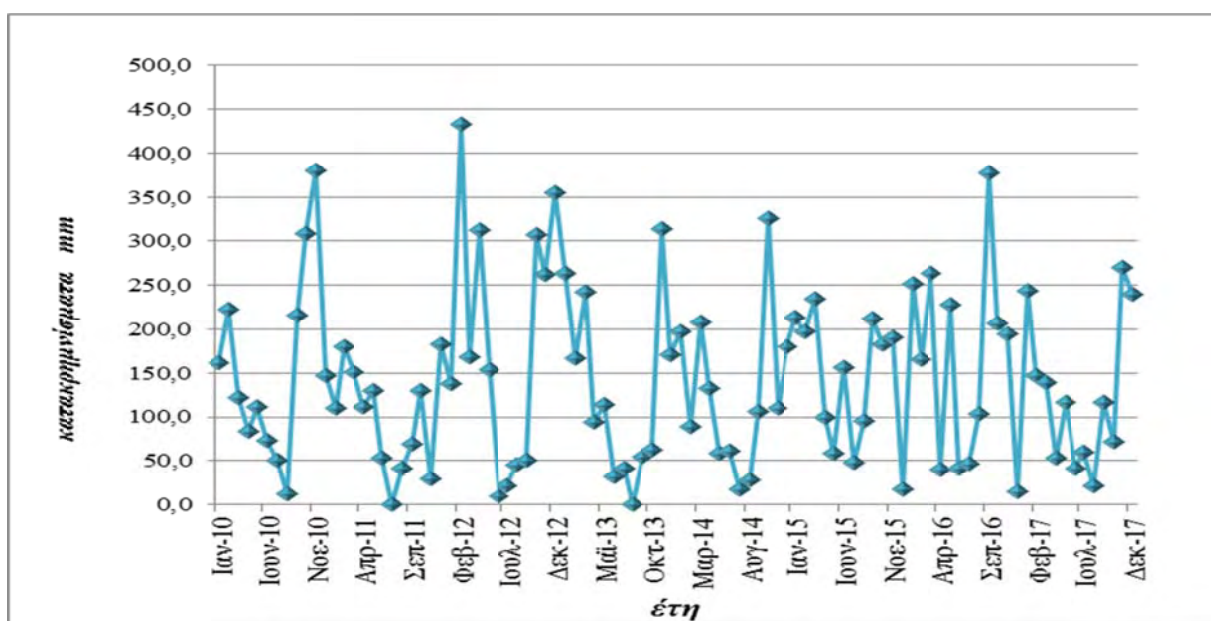
**Σχήμα 6.2:** Ομβροθερμικό διάγραμμα για τη χρονική περίοδο 2010-2017

Παρατηρούμε ότι οι μήνες με μεγάλες τιμές στο ύψος των κατακρημνισμάτων είναι από τον Σεπτέμβριο έως τον Μάρτιο. Οι μήνες που εμφανίζουν το μεγαλύτερο ύψος είναι ο Νοέμβριος και ο Φεβρουάριος. Αυτό οφείλεται ότι οι δύο αυτοί μήνες έχουν συνήθως και τις περισσότερες χιονοπτώσεις. Οι μήνες της άνοιξης έχουν λιγότερο ύψος κατακρημνισμάτων σε σχέση με τους μήνες του χειμώνα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η σύγκριση μεταξύ των μηνών Δεκεμβρίου και Μαρτίου. Ο Μάρτιος έχει κατά πολύ αυξημένο ύψος κατακρημνισμάτων σε σχέση με τον Δεκέμβριο. Τα κατακρημνίσματα εμφανίζουν αξιόλογη μείωση τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Ο μήνας με το χαμηλότερο ύψος κατακρημνισμάτων είναι ο Ιούλιος.



Στη συνέχεια σχηματίστηκε η συνθετική χρονοσειρά των κατακρημνισμάτων με μηνιαία δεδομένα για τα έτη 2000-2017 όπως εξηγήθηκε στο παραπάνω κεφάλαιο. Παρατηρώντας τα δεδομένα των τιμών του ύψους των κατακρημνισμάτων της συνθετικής χρονοσειράς στο μέσο σταθμισμένο υψόμετρο της λεκάνης, διαπιστώνουμε τα εξής:

Ο μήνας με το μεγαλύτερο ύψος κατακρημνισμάτων, κατά τη χρονική περίοδο 2010-2017, είναι ο Φεβρουάριος του 2012 για το μέσο σταθμισμένο ύψος της λεκάνης με τιμή 433,1mm. Το χαμηλότερο ύψος κατακρημνισμάτων παρατηρείται το μήνα Ιούλιο του 2011 που ισούται με το μηδέν. Γενικεύοντας τις παραπάνω παρατηρήσεις, το έτος που έχει δεχτεί μεγαλύτερο ύψος κατακρημνισμάτων είναι το 2012 ( $P_{ki}=2254,8\text{mm}$ ). Το έτος με το μικρότερο ύψος κατακρημνισμάτων είναι το 2011 ( $P_{Tk}=1187,8\text{mm}$ ) (Σχήμα 6.3)



**Σχήμα 6.3:** Κατακρημνίσματα για τη χρονική περίοδο 2010-2017 στο Μ.Σ υψόμετρο λεκάνης απορροής.

Για τα έτη 2010-2017 η μέση τιμή της σχηματιζόμενης χρονοσειράς της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Μουτσιαρίτη, ισούται με 141,2 mm. (Πίνακας 6.3)

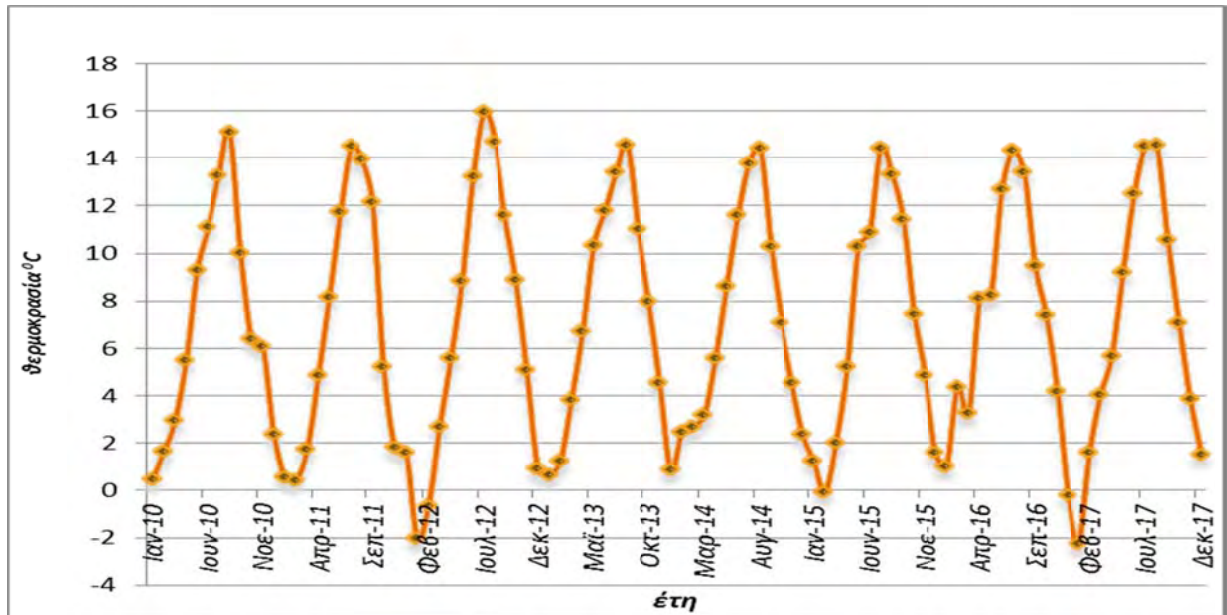
**Πίνακας 6.3:** Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των κατακρημνισμάτων στο Μ.Σ. υψόμετρο της λεκάνης απορροής.

Μέσος όρος	141,218477
Τυπικό σφάλμα	10,13904812
Διάμεσο	126,007841
Τυπική απόκλιση	99,3419775
Ελάχιστο	0
Μέγιστο	433,0546424

#### 6.4 Θερμοκρασία

Η μέση τιμή της θερμοκρασίας για τα έτη 2010-2017 κυμαίνεται από -2,2 °C έως 15,9 °C για το μέσο σταθμισμένο ύψος της λεκάνης όπως προκύπτει από τη χρονοσειρά που δημιουργήθηκε. Η μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται το μήνα Ιούλιο το έτος 2012, ενώ η ελάχιστη το μήνα Ιανουάριο για το έτος 2017. Το πιο ψυχρό έτος είναι το 2011 ( $T_k=6,4^{\circ}\text{C}$ ). Αντιθέτως, το πιο θερμό έτος είναι το 2013 με αντίστοιχη τιμή για το μέσο σταθμισμένο ύψος της λεκάνης  $T_k=7,3^{\circ}\text{C}$  (Σχήμα 6.4).



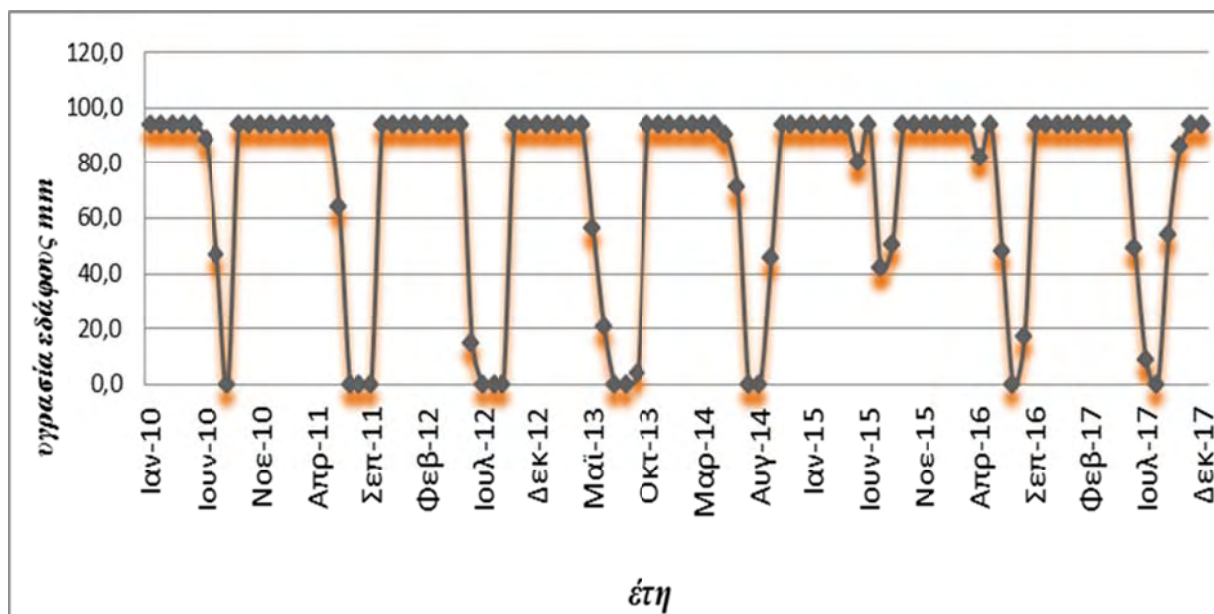


**Σχήμα 6.4:** Θερμοκρασία για την χρονική περίοδο 2010-2017 στο Μ.Σ υψόμετρο λεκάνης απορροής

**Πίνακας 6.4:** Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία της θερμοκρασίας στο Μ.Σ. υψόμετρο της λεκάνης απορροής

Μέσος όρος	6,9
Τυπικό σάλμα	0,5
Διάμεσο	6,5
Τυπική απόκλιση	4,9
Ελάχιστο	-2,2
Μέγιστο	15,9

## 6.5 Υγρασία εδάφους

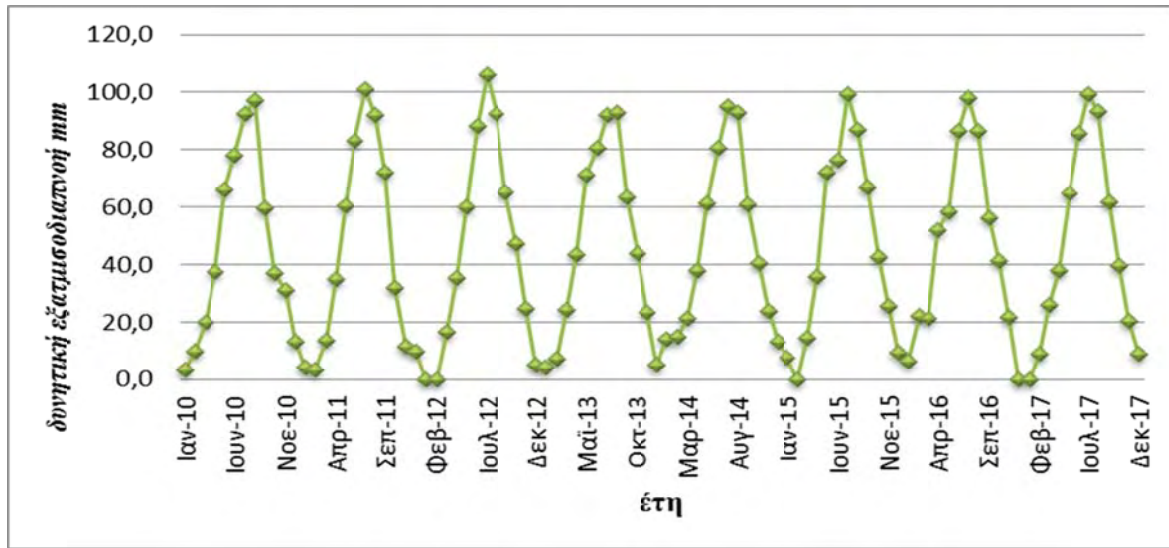


**Σχήμα 6.5:** Υγρασία εδάφους για τη χρονική περίοδο 2010-2017

Όπως ήταν αναμενόμενο κατά τους μήνες Νοέμβριο έως Μάρτιο, παρουσιάζεται η μέγιστη εδαφική υγρασία (93,7 mm), ενώ στη συνέχεια παρατηρείται πτωτική τάση εξαιτίας των υφιστάμενων μετεωρολογικών συνθηκών.

## 6.6 Εξατμισοδιαπνοή

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε το Σχήμα 6.6 σύμφωνα με την εκτίμηση της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής κατά Thornthwaite που έλαβε χώρα. Η εξατμισοδιαπνοή ξεκινά με τη χαμηλότερη τιμή το μήνα Ιανουάριο για κάθε έτος στη συνέχεια παρουσιάζει αύξηση από το μήνα Μάρτιο μέχρι το μήνα Ιούλιο και από το μήνα Αύγουστο εμφανίζει πτωτική πορεία. Συγκεκριμένα για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο του 2012, το Φεβρουάριο του 2015, το Δεκέμβριο του 2016 και τον Ιανουάριο του 2017 εξαιτίας των πολύ χαμηλών τιμών της θερμοκρασίας δε παρατηρήθηκε κάποια τιμή για το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής.

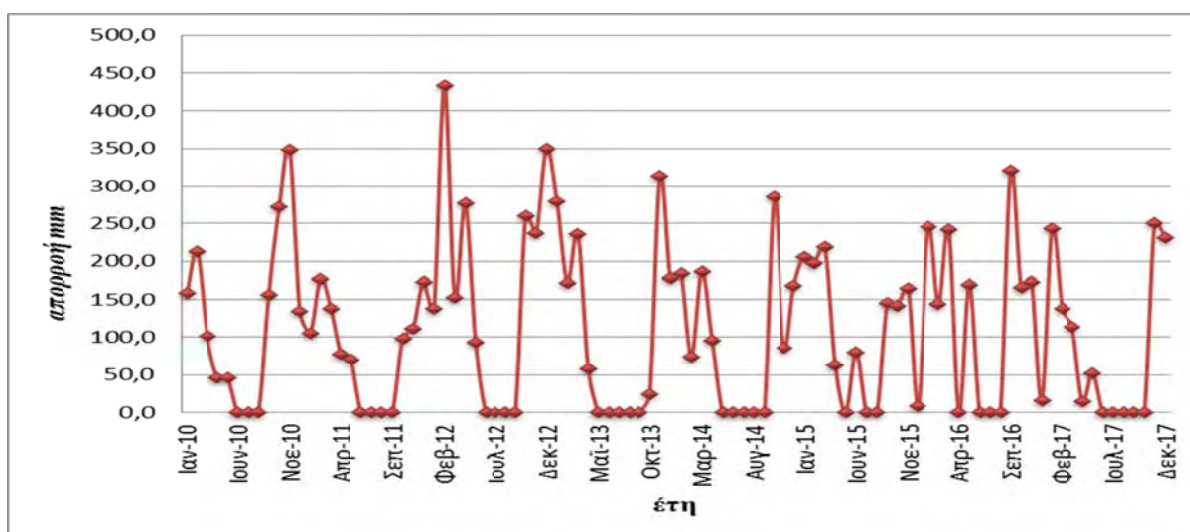


**Σχήμα 6.6:** Δυνητική εξατμισοδιαπνοή για τη χρονική περίοδο 2010-2017

**Πίνακας 6.5** Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

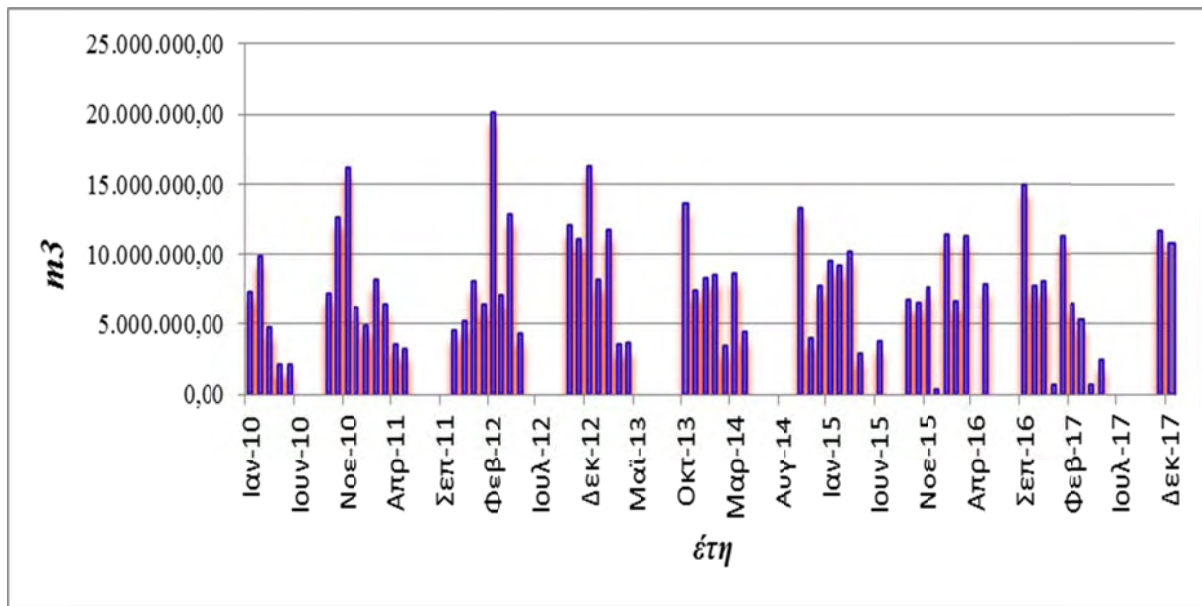
Μέσος όρος	45,28
Τυπικό σφάλμα	3,35
Διάμεσο	38,89
Τυπική απόκλιση	32,91
Ελάχιστο	0
Μέγιστο	106,27

## 6.7 Τελική Απορροή



**Σχήμα 6.7:** Τελική απορροή για τη χρονική περίοδο 2010-2017

Η μέγιστη απορροή παρατηρήθηκε το μήνα Φεβρουάριο το έτος 2012 (433,05 mm) και η ελάχιστη 0 mm τους μήνες από Ιούνιο-Αύγουστο για το έτος 2010, από Ιούνιο έως Σεπτέμβριο για το έτος 2011, από Ιούνιο έως Σεπτέμβριο για το έτος 2012, από Μάιο έως Σεπτέμβριο για το έτος 2013, από Μάιο έως Σεπτέμβριο για το έτος 2014, τους μήνες Μάιο Ιούλιο και Αύγουστο του 2015, τον Απρίλιο Ιούνιο Αύγουστο του 2016, από τον Ιούνιο έως τον Οκτώβριο του 2017. Οι παραπάνω παρατηρήσεις αιτιολογούνται σύμφωνα με τις τιμές των κατακρημνισμάτων και της εξατμισοδιαπνοής στους αντίστοιχους μήνες όπως υπολογίστηκαν στο κεφάλαιο 6.



**Σχήμα 6.8:** Όγκος απορροής για τη χρονική περίοδο 2010-2017

Το έτος με το χαμηλότερο όγκο απορροής είναι το 2011 με τιμή 44096706,95 m<sup>3</sup> και με τη μεγαλύτερο είναι το έτος 2012 με τιμή 90.185.625,74 m<sup>3</sup>.

**Πίνακας 6.6:** Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία της απορροής

Μέσος όρος	108,78
Τυπικό σφάλμα	11,05
Διάμεσο	94,1
Τυπική απόκλιση	108,33
Ελάχιστο	0
Μέγιστο	433,05





**Εικόνα 6.2:** Μουτσιαρίτης Αύγουστος 2017(από προσωπικό αρχείο)

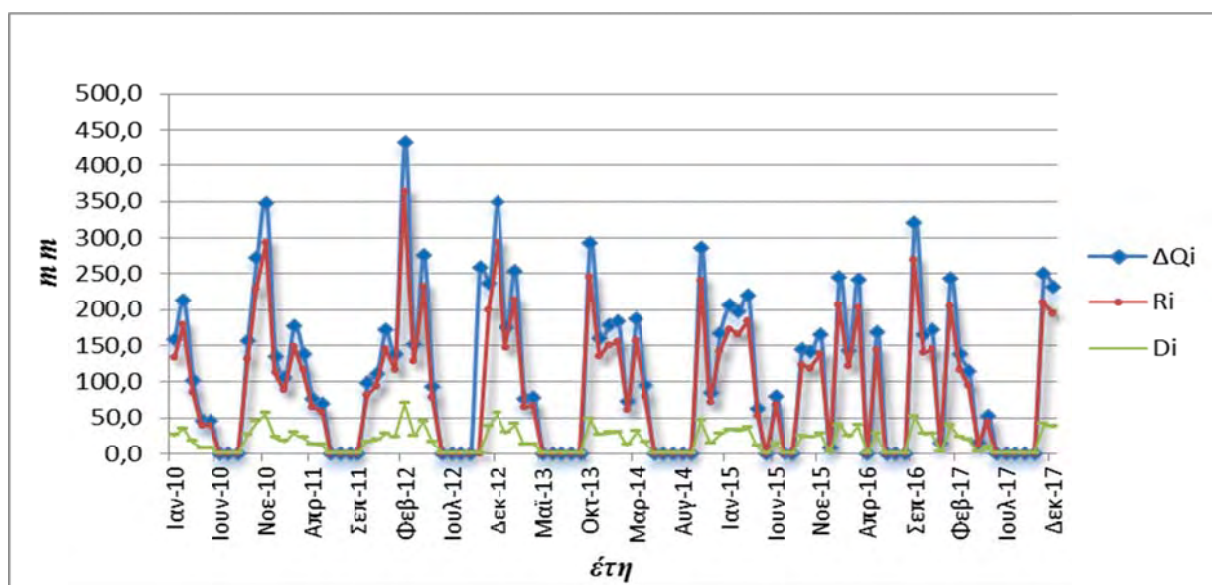


**Εικόνα 6.3:** Μουτσιαρίτης Νοέμβριος 2017(από προσωπικό αρχείο)



**Εικόνα 6.4:** Μουτσιαρίτης Νοέμβριος 2017(από προσωπικό αρχείο)

### 6.8 Τελική, επιφανειακή και υπόγεια απορροή

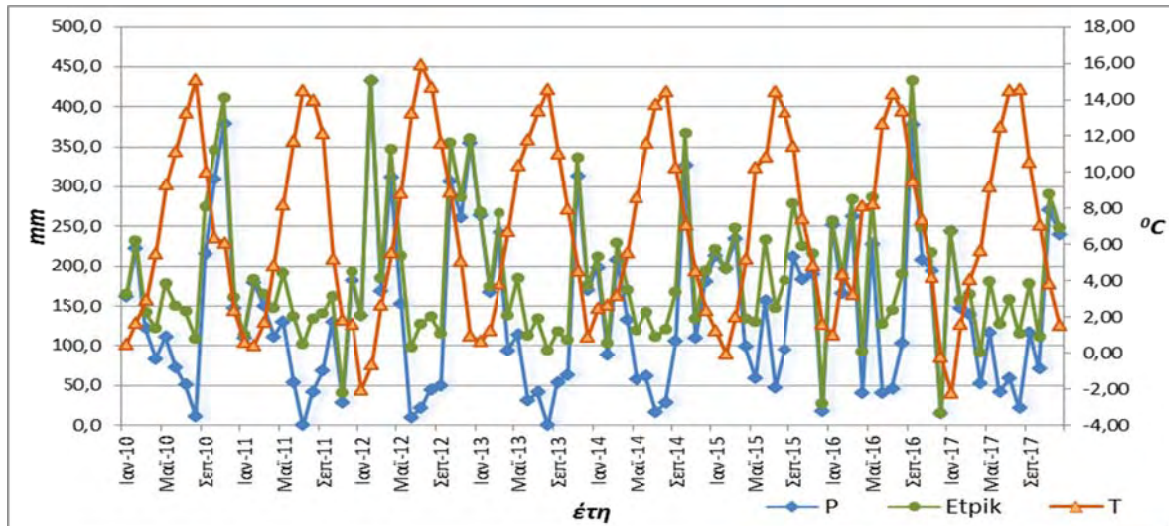


Σχήμα 6.9: Τελική, επιφανειακή και υπόγεια απορροή για τη χρονική περίοδο 2010-2017

Όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η τελική απορροή είναι το άθροισμα της επιφανειακής και υπόγειας απορροής. Στο παραπάνω διάγραμμα συνοψίζονται οι τιμές των αντίστοιχων απορροών, όπως υπολογίστηκαν από τους τύπους 5.15 και 5.16.

### 6.9 Βροχόπτωση, θερμοκρασία, εξατμισοδιαπνοή

Συγκεντρωτικά, παρατίθενται η βροχόπτωση, θερμοκρασία και εξατμισοδιαπνοή για την λεκάνη απορροής του χειμάρρου Μουτσιαρίτη.



**Σχήμα 6.8:** Η βροχόπτωση, η θερμοκρασία και εξατμισοδιαπνοή στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Μουτσιαρίτη για τη χρονική περίοδο 2010-2017



## 7. ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

### 7.1 Η Διδακτική Περιβάλλοντος

Η διδακτική περιβάλλοντος θεωρείται η μεθοδολογία με την οποία αποκτούμε γνώσεις, αναπτύσσουμε δεξιότητες και καλλιεργούμε αξίες και στάσεις για το περιβάλλον σε όλες τις μορφές του, όπως είναι το Φυσικό, Ανθρωπογενές, Κοινωνικο-Οικονομικό και Ιστορικό περιβάλλον.

Βάσει του νόμου 1892/1990, άρθρο 111, παρ.13: *«Η περιβαλλοντική εκπαίδευση αποτελεί τμήμα των προγραμμάτων των σχολείων Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης»*. Με τον Νόμο 1946/1991, άρθρο 62, παρ.2 *«αποφασίστηκε η ανάγκη επέκτασης της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και στα σχολεία της Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης»*.

*«Σκοπός της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης είναι να συνειδητοποιήσουν οι μαθητές τη σχέση του ανθρώπου με το φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον του, να ευαισθητοποιηθούν για τα προβλήματα που συνδέονται με αυτό και να δραστηριοποιηθούν, με ειδικά προγράμματα, ώστε να συμβάλουν στη γενικότερη προσπάθεια αντιμετώπισής τους. Ως εκπαιδευτική διαδικασία / δραστηριότητα οδηγεί στη διασαφήνιση εννοιών, την αναγνώριση αξιών, την ανάπτυξη / καλλιέργεια ψυχοκινητικών δεξιοτήτων και στάσεων που είναι απαραίτητες στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και στη διαμόρφωση κώδικα συμπεριφοράς γύρω από τα προβλήματα που αφορούν στην ποιότητα του περιβάλλοντος σε ατομικό και στη συνέχεια σε ομαδικό/ κοινωνικό επίπεδο.»*

*«Η έννοια του περιβάλλοντος στην Περιβαλλοντική Εκπαίδευση αντιμετωπίζεται με την ολιστική διάστασή του και περιλαμβάνει τις παρακάτω εκφάνσεις: Φυσικό, Τεχνητό/ δομημένο, Κοινωνικο-Οικονομικό και Ιστορικό περιβάλλον. Για το λόγο αυτό κάθε*

*θέμα/ πρόβλημα μελετάται διεπιστημονικά και διαθεματικά.»* (Παιδαγωγικό Ινστιτούτο Δ.Ε.Π.Π.Σ., ΦΕΚ 304B/13-03-2003).

Οι άξονες των προγραμμάτων της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και στοχοθεσία είναι κοινοί και προσανατολισμένοι στις αποφάσεις των διεθνών συνδιασκέψεων και συνόδων κορυφής, όπως αυτές διατυπώθηκαν στη Σύνοδο Κορυφής για το περιβάλλον και την ανάπτυξη (Agenda 21, Rio De Janeiro 1992) και αφορούν και όλες τις βαθμίδες της Εκπαίδευσης. Ως βασικοί άξονες προτείνονται:

- Κλιματικές αλλαγές - Προστασία της ατμόσφαιρας
  - Ο αέρας (η ρύπανση του αέρα στις πόλεις κτλ)
  - Το νερό (η ρύπανση και εξάντληση των επιφανειακών και υπογείων νερών κτλ)
  - Το έδαφος ( η ερημοποίηση, η διάβρωση)
  - Η ενέργεια (η εξάντληση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων κτλ)
  - Τα δάση (η προστασία και η αειφόρος διαχείριση των δασών κτλ)
  - Βιοποικιλότητα/ εξαφάνιση των ειδών
  - Διαχείριση απορριμμάτων και αποβλήτων
  - Ανθρώπινες δραστηριότητες (οι δομημένοι χώροι και οι λειτουργίες που επιτελούνται σε αυτούς, στο αστικό και περιαστικό πράσινο κτλ
  - Ανθρώπινες σχέσεις (οι κοινωνικές και οικονομικές διαστάσεις του αναπτυξιακού και περιβαλλοντικού προβλήματος, η ισότητα των φύλων, οι ανθρώπινες αξίες, τα προβλήματα μειονοτήτων κτλ
- Παιδαγωγικό Ινστιτούτο Δ.Ε.Π.Π.Σ., ΦΕΚ 304B/13-03-2003)

Απαραίτητη για την αποτελεσματική διεξαγωγή της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης είναι η επιμελής διδακτική, η οποία, όπως προαναφέρθηκε, συνίσταται

στην εύστοχη επιλογή και ορθώς προσχεδιασμένη εφαρμογή διδακτικών εργαλείων και μεθόδων κατάλληλων για τη μετάδοση της κάθε γνώσης περί της πολυσύνθετης έννοιας του «περιβάλλοντος». Στο σημείο αυτό πρέπει να αποσαφηνιστεί ότι ενώ η διδακτική αποτελεί επιστήμη (δηλ. εφαρμογή, δοκιμή και συνεχή ανάπτυξη γνώσης κυρίως παιδαγωγικής και κοινωνικο- ψυχολογικής φύσης που παράγεται εμπειρικά από την διερεύνηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων και συστηματοποιείται θεωρητικά, με στόχο να πετύχει τη βαθύτερη δυνατή κατανόηση και εμπέδωση γνώσεων, δεξιοτήτων και στάσεων από τον μεγαλύτερο δυνατό αριθμό διδασκομένων στον ελάχιστο δυνατό χρόνο). Συμπερασματικά η περιβαλλοντική εκπαίδευση λειτουργεί ως ένα μαθησιακό συμπλήρωμα ή επιστέγασμα όλων των αντικειμένων που βασίζονται γενικότερης διδακτικής. Υπάρχει δηλαδή μία συνεχής διαρκής και αμφίδρομη επανατροφοδότηση μεταξύ της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και της διδακτικής περιβάλλοντος.

Βασικά συστατικά της διδακτικής περιβάλλοντος συνιστούν οι βασικές αρχές, στόχοι και θεματικοί άξονες της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης, μεθοδολογικές προσεγγίσεις, ενδεικτικό πλαίσιο ανάπτυξης προγράμματος και κριτήρια αξιολόγησης προγραμμάτων.

Ως εκπαιδευτική διαδικασία νοείται η δραστηριότητα που καταλήγει στα εξής:

- ✓ στη διασαφήνιση εννοιών,
- ✓ στην αναγνώριση αξιών,
- ✓ στην ανάπτυξη / καλλιέργεια ψυχοκινητικών δεξιοτήτων και στάσεων που είναι απαραίτητες στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και
- ✓ στη διαμόρφωση κώδικα συμπεριφοράς γύρω από τα προβλήματα που αφορούν στην ποιότητα του περιβάλλοντος σε ατομικό και στη συνέχεια σε ομαδικό και κοινωνικό.

Επιπλέον, αξίζει να επισημανθεί πως η Διδακτική Περιβάλλοντος δεν είναι μία διαδικασία που αφορά μόνο τους μαθητές πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης αλλά συνεχίζεται και στους φοιτητές της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης, όπως μπορεί επίσης να συνεχιστεί στο στάδιο της λεγόμενης Συνεχιζόμενης Εκπαίδευσης και της Εκπαίδευσης Ενηλίκων (δηλ. ατόμων που δεν έχουν πλέον ως κύρια ενασχόλησή τους να είναι εκπαιδευόμενοι και «να κάθονται σε θρανία»).

Είναι επίσης φανερό ότι η γνωστή μορφής περιβαλλοντική εκπαίδευση, που ασκείται οργανωμένα (σχολικό πρόγραμμα και σπουδές, σεμινάρια κλπ) α) από το κρατικό εκπαιδευτικό σύστημα στις τρεις βαθμίδες της εκπαίδευσης και β) από τυχόν περιβαλλοντικού προσανατολισμού ΜΚΟ που παίρνουν αντίστοιχες πρωτοβουλίες (πχ ημερίδες για ευρύ κοινό, μαθητές κλπ), εντάσσεται αντίστοιχα στην λεγόμενη «*τυπική*» και «*μη τυπική*» εκπαίδευση. Τονίζουμε ωστόσο ότι η περιβαλλοντική εκπαίδευση μπορεί να λάβει χώρα και στα πλαίσια της λεγόμενης «*άτυπης*» εκπαίδευσης, η οποία θεωρείται ότι συνίσταται σε κυρίως προσωπικά διδάγματα που απορρέουν τυχαία περιστατικά και βιώματα της καθημερινότητας. Γεγονότα όπως μια πλημμύρα λόγω δασικής πυρκαγιάς που καταστρέφει τις οικίες κάποιων που αδιαφορούσαν πιο πριν για την προστασία του δάσους, η απώλεια οικο-τουρισμού λόγω ρύπανσης υδάτων από στάνες σε μια περιοχή, είναι παραδείγματα του πώς η «*άτυπη*» περιβαλλοντική εκπαίδευση μπορεί να επιδράσει δραστικότερα από οποιοδήποτε άριστα επιμελημένο πρόγραμμα «*τυπικής*» ή «*μη τυπικής*» εκπαίδευσης, πετυχαίνοντας την πιο ριζική μετασχηματίζουσα αλλά και γνωσιακή μάθηση που μπορεί να υπάρξει (όμως συνήθως όταν είναι πια αργά). Είναι φανερό ότι «*άτυπη περιβαλλοντική εκπαίδευση*» αποτελεί την πλέον αυθεντική διδακτική που έχει ως ενεργητικό υποκείμενο τι ίδιο το περιβάλλον.

## 7.2 Υδάτινο περιβάλλον και Διδακτική

Οι στάσεις απέναντι σε φυσικές αξίες έχουν διερευνηθεί εκτεταμένα (Borge κ.α., 2003) σε ποικίλα επίπεδα και ηλικίες, όχι όμως και ο τρόπος πραγματολογικής ανάλυσης βάσει πραγματικών δεδομένων. Ο σχηματισμός εννοιολογίας και η λειτουργία της αφαιρετικής σκέψης αποτέλεσε σημαντικό ερευνητικό ζήτημα στη διδακτική των φυσικών φαινομένων (Petruța 2015a), όπως και η χρήση εννοιολογικών χαρτών διεπιστημονικής συσχέτισης (Petruța 2015b). Ωστόσο, δεν δόθηκε επαρκής βαρύτητα στη συλλογή πραγματικών δεδομένων σχετικών με το υδάτινο περιβάλλον και το υδατικό ισοζύγιο. Από τους Florentina και Barbu (2015) τονίστηκε η σημασία της διεπιστημονικής σχέσης εννοιών, ειδικά στην ανάλυση οικοσυστημάτων, ενώ παράλληλα τονίστηκε (Costel 2015) η γενικότερη σημασία της διδακτικής στη γνωσιοθεωρητική εμβάθυνση. Τα υδρολογικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολύπλευρα για τέτοιες προσεγγίσεις.

Ταυτόχρονα, τα ερεθίσματα φοιτητών περιβαλλοντικών κλάδων (Arevalo κ.α., 2012) μπορούν να μην περιορίζονται σε αντίληψη της ακαδημαϊκής οργάνωσης και της παθητικής παροχής γνώσης, αλλά να επεκταθούν σε πολύπλοκα φυσικά φαινόμενα, όπως τα υδρολογικά και μετεωρολογικά. Το σύστημα της υδατοπανίδας έχει χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα διδακτικής (Kwan κ.α., 2017) και επομένως το υδατικό ισοζύγιο θα μπορούσε να αποτελεί προέκταση της ενέργειας αυτής. Υπάρχουν γνωσιολογικά περιθώρια για αναλυτικούς δείκτες και ανάπτυξη θεωρητικών πλαισίων διδακτικής (Guerra κ.α., 2016), πράγμα που θα μπορούσε να δοκιμαστεί στο πολύπλοκο σύστημα του υδατικού ισοζυγίου. Ιδίως τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών συνιστούν κατάλληλο εμπειρικό πεδίο διδακτικής (Muller και Flohr, 2016) και αποτελούν έτσι ένα ενθαρρυντικό παράδειγμα για την χρήση περιπτώσεων υδατικού

ισοζυγίου για διδακτικούς σκοπούς. Κατά τους Hoang και Kato (2016), πρόσφορο πεδίο διδακτικής σε μικρές ηλικίες αποτελεί και η διαχείριση στερεών αποβλήτων. Συνεπώς, κατ' επέκταση, η εξάσκηση κατανόησης του υδάτινου περιβάλλοντος που χρήζει προστασίας, καθώς και του υδατικού ισοζυγίου, που συνιστά επίσης ένα σύστημα χρονικά διακριτών φάσεων, όπως και η διαχείριση αποβλήτων, φαίνεται να συνιστά επίσης ένα πρόσφορο πεδίο.

Έχει κατά καιρούς τονιστεί η σημασία της επιτόπιας (insitu) επαφής με το υδάτινο περιβάλλον (Rangel κ.α., 2015) για την υιοθέτηση περιβαλλοντικών αξιών. Συνεπώς, η επίδραση μιας ανάλογης επιτόπιας επαφής με το υδάτινο περιβάλλον, με ιδιαίτερη βαρύτητα στο μαθηματικά μοντελοποιημένο φαινόμενο του υδατικού ισοζυγίου, εύλογα μπορεί να αναμένεται να οξύνει τη γνωσιακή αντίληψη. Η έννοια της βιωσιμότητας έχει συζητηθεί εκτενώς ως τώρα, αλλά κυρίως από κοινωνικο-πολιτικές πλευρές (Korpinina, 2015), χωρίς όμως την υποστήριξη συγκεκριμένων φυσικών μοντέλων για το πώς λειτουργούν τα φυσικά οικοσυστήματα λεπτομερώς, όπως θα μπορούσαν να είναι λ.χ. τα μοντέλα του υδατικού ισοζυγίου. Το ίδιο ισχύει κατ' επέκταση και για την υποστήριξη φυσικομαθηματικών μοντέλων που θα μπορούσε να πλαισιώσει συζητήσεις σχετικές με την πολιτισμική διάσταση του φυσικού περιβάλλοντος, για την οποία έχουν γίνει επανειλημμένα έρευνες (Blanchet-Cohen και Reilly, 2013).

Η ανάλυση της πρόληψης του περιβάλλοντος είναι στη σημερινή εποχή εκτενής, εντός και εκτός παιδαγωγικού πεδίου, συνιστώντας μια ιδιαίτερη ερευνητική πρόκληση, ιδίως σε ό,τι αφορά την αντίληψη φυσικών αξιών (Butak. ά, 2014; Hiner, 2014). Προϋπόθεση, ωστόσο, για μια τέτοια ολιστική αντίληψη των φαινομένων του φυσικού περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένου του υδατικού ισοζυγίου, είναι η ακριβής

κατανόηση της λειτουργίας τους, βάσει πραγματικών στοιχείων που δύναται να χρησιμοποιηθούν για διδακτικούς σκοπούς.

Αποτελεσματική για το σκοπό είναι η έρευνα που διεξάγεται στο σύστημα της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης (Karatzoglou, 2013) και ιδίως οι εσωτερικές εκπαιδευτικές διεργασίες σε ειδικότερα πεδία του φυσικού περιβάλλοντος (Bacelar Nicolau κ.α. 2009, Sutton και Gyuris, 2015). Στα πλαίσια αυτά, το υδατικό ισοζύγιο αποτελεί ένα ιδιαιτέρως πρόσφορο εξειδικευμένο πεδίο, λόγω της πολυπλοκότητάς του, αλλά και της ευρύτητας των εφαρμογών για τις ανθρώπινες ανάγκες. Ο Steinnes (1992) είχε υποστηρίξει ότι η αξία των υδάτινων πόρων έχει νόημα να μετρηθεί ως αντιλαμβανόμενο μέγεθος (perception) από το κοινό των χρηστών και όχι απλώς ως μια τρέχουσα τιμή, τονίζοντας έτσι την ανάγκη συνεργασίας μεταξύ κοινωνικών και φυσικών επιστημών. Οι Matsiori κ.α. (2013) κινήθηκαν λεπτομερειακά προς την ανίχνευση ποικίλων αντιλαμβανόμενων αξιών υδάτινων πόρων. Σε άλλες έρευνες αναλύθηκε η αντιλαμβανόμενη οικονομική αξία των υδάτινων πόρων και εντοπίστηκε η εξάρτησή της από κοινωνικά χαρακτηριστικά των χρηστών (εκπαιδευτικό επίπεδο, εισόδημα και προέλευση) (Halkos & Matsiori, 2014), καθώς και η σχέση της με δημογραφικά χαρακτηριστικά και η ενδεχόμενη χρήση των πληροφοριών αυτών στον πολιτικό σχεδιασμό (Halkos & Matsiori, 2016)

Τα περιβαλλοντικά ζητήματα συνιστούν διαρκώς πεδία ανοιχτών ερωτημάτων, τόσο από άποψη πραγματολογικής και αντιληπτικής για το πώς λειτουργούν τα φυσικά οικοσυστήματα (Zsóka κ.α., 2013, Rodríguez-Barreiro κ.α., 2013), όσο και από άποψη διδακτικής μεθόδευσης (Vizgirdaite & Juceviciene, 2014). Ως εκ τούτου, τα φυσικά οικοσυστήματα συνιστούν και πάλι ένα κατάλληλο πεδίο ανάλυσης συστημικής πολυπλοκότητας, καθώς και δοκιμής διδακτικών τεχνικών (Srbinovski κ.α., 2014,

Rodrigues 2014, Dlouhá και Burandt, 2014). Το υδατικό οικοσύστημα αποτελεί και σε αυτή την περίπτωση ένα πεδίο κατάλληλης πολυπλοκότητας για διδακτικές εφαρμογές σε συνδυασμό με την γνωσιοθεωρητική συστημική εμβάθυνση.

### **7.3 Εκπαιδευτική προσέγγιση**

Για τη πραγματοποίηση των περιβαλλοντικών προγραμμάτων ή δράσεων απαιτείται ένας σχεδιασμός από διάφορες μεθοδολογικές προσεγγίσεις οι οποίες είναι ανάλογες με τη κάθε περίπτωση. Ορίζεται πρώτα το πρόβλημα και λαμβάνουν χώρα διάφορες μέθοδοι της Γενικής Διδακτικής όπως:

- μέθοδο σχεδίων εργασίας (projects),
- η μελέτη πεδίου,
- η μελέτη περίπτωσης,
- η χαρτογράφηση εννοιών,
- το παιχνίδι ρόλων,
- η εποικοδομητική προσέγγιση

Τα στάδια για την πραγματοποίηση περιβαλλοντικών δράσεων είναι:

#### A) Επίλυση του προβλήματος

Κατά κανόνα ακολουθούνται τα εξής:

- Ορισμός του προβλήματος,
- Στοχοθεσία για την επίλυση,
- Πρόταση εναλλακτικών λύσεων η αιτιολογία αυτών,
- Εύρεση της κατάλληλης λύσης ή λύσεων πάντα υπό τις αρχές της αειφορίας,
- Συγκρότηση σχεδίου δράσεων,



- Υλοποίηση διάφορων δράσεων,
- Παρουσίαση, αξιολόγηση και επανατροφοδότηση της ακολουθούσας διαδικασίας

### B) Ανάπτυξη Σχεδίου Εργασίας

Η συνηθισμένη πορεία είναι:

- Η επιλογή του θέματος,
- Ο καθορισμός συγκεκριμένων στόχων,
- Η συγκρότηση των ομάδων,
- Ο Σχεδιασμός της εργασίας,
- Η πραγματοποίηση της εργασίας,
- Η παρουσίαση των εργασιών των ομάδων και η αξιολόγησή τους,

Κατά την ανάπτυξη ενός Σχεδίου Εργασίας μπορούν να εφαρμοστούν οι διάφορες διδακτικές ενέργειες όπως:

- Κατασκευή και υποβολή ερωτηματολογίων
- Πειραματική μέθοδος
- Επισκόπηση και αναπροσδιορισμό απόψεων
- Ιδιαίτερη μελέτη κάποιας χαρακτηριστικής περίπτωσης
- Διάφορες δραστηριότητες προσομοίωσης
- Εξέταση και διαφοροποίηση ιδεών

### Γ) Μελέτη πεδίου

Οι μαθητές χωρίζονται σε ομάδες και κάθε ομάδα αναλαμβάνει συγκεκριμένες δραστηριότητες τις οποίες πρέπει να υλοποιήσει κατά την επίσκεψή της στο πεδίο όπως:

- Καταγραφή στοιχείων
- Συλλογή στοιχείων όπου είναι δυνατό και επιτρεπτό,
- παρατήρηση,
- φωτογράφιση-βιντεοσκόπηση
- επιτόπιες συνεντεύξεις
- χρήση ερωτηματολογίων

Η μελέτη πεδίου είναι πολύ σημαντική για την υλοποίηση περιβαλλοντικών προγραμμάτων ή ερευνών και αναπόσπαστο κομμάτι της εκπαιδευτικής διαδικασίας καθώς δημιουργεί πολλές ευκαιρίες για την ομαδοσυνεργατική μέθοδο διδασκαλίας.

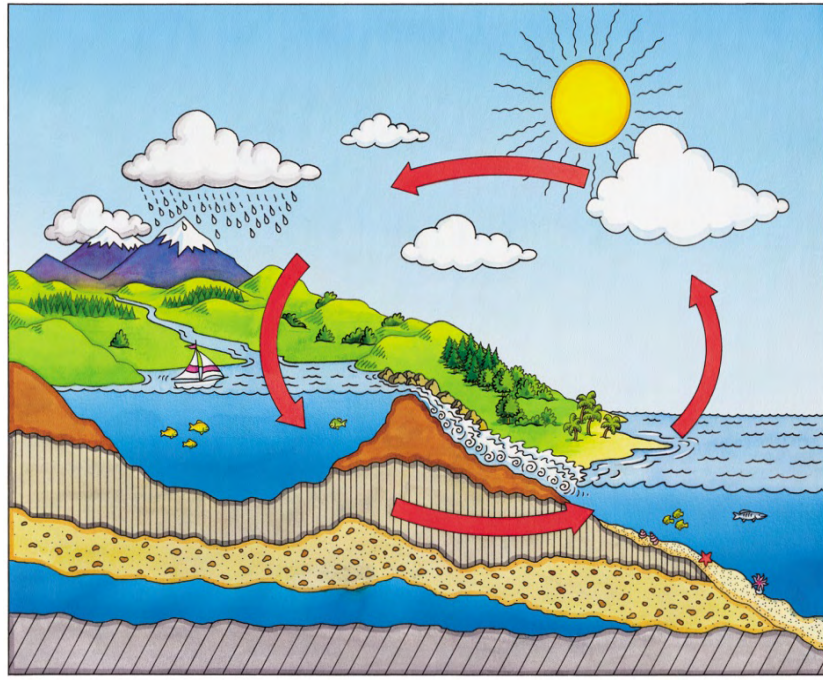
#### **7.4 Υδατικό ισοζύγιο-Εκπαιδευτικές προτάσεις**

Ο υδρολογικός κύκλος ή όπως συνηθίζεται ο κύκλος του νερού μελετάται από τα πρώτα χρόνια της εκπαίδευσης. Από την προσχολική εκπαίδευση οι μικροί μαθητές καλούνται να παρατηρήσουν το ταξίδι της σταγόνας όπου αλλάζει μορφές και μέρη. Καθώς αυξάνεται η ηλικία των μαθητών αυξάνονται και οι πληροφορίες με στόχο την απώτερη γνώση. Το ταξίδι της σταγόνας και οι μορφές τις οποίες αλλάζει, ονομάζονται καταστάσεις του νερού και εμφανίζονται πια οι ορισμοί των φυσικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα. Στη συνέχεια, ο κύκλος του νερού αποτελεί μία μαθηματική πράξη, δηλαδή το υδατικό ισοζύγιο.

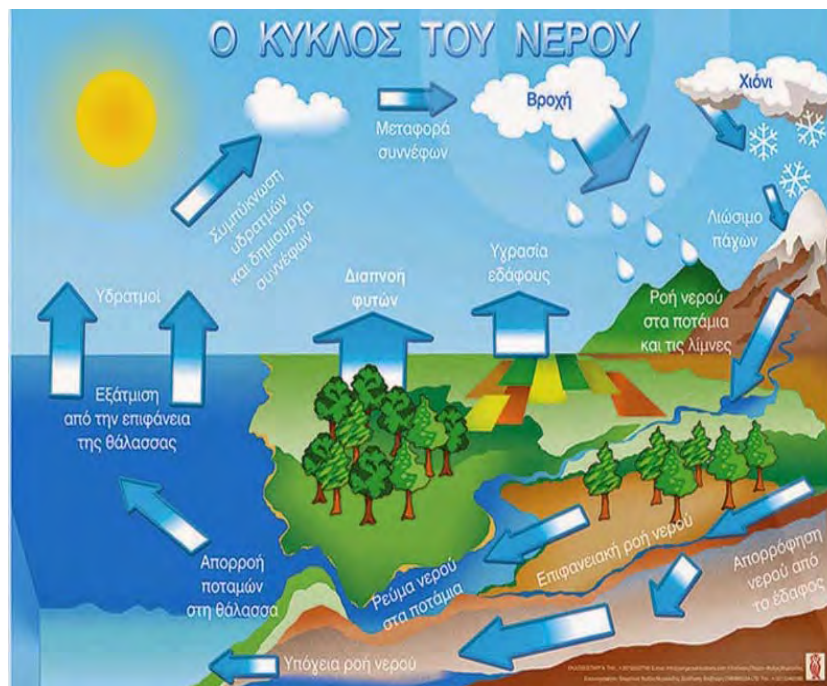
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για να γίνει κάτι τέτοιο κατανοητό στις διάφορες βαθμίδες της εκπαίδευσης χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι και μέσα. Κάποιες πρακτικές που μπορούν να εφαρμοστούν κατά την εκπαιδευτική διαδικασία θα περιγραφούν παρακάτω.

Για τον υδρολογικό κύκλο

**Οπτικά μέσα:** Εκπαιδευτικές αφίσες, φωτογραφίες, video, ντοκιμαντέρ, εκπαιδευτικά λογισμικά ανοικτού ή κλειστού τύπου που αφορούν τον κύκλο του νερού, το μάθημα της μελέτης περιβάλλοντος, το μάθημα της γεωγραφίας και των φυσικών επιστημών.



**Εικόνα 7.1:** Χωρίς πληροφορίες για μικρότερες ηλικίες ([http 4](http://4))



**Εικόνα 7.2:** Με πληροφορίες για μεγαλύτερες ηλικίες ([http 5](http://5))

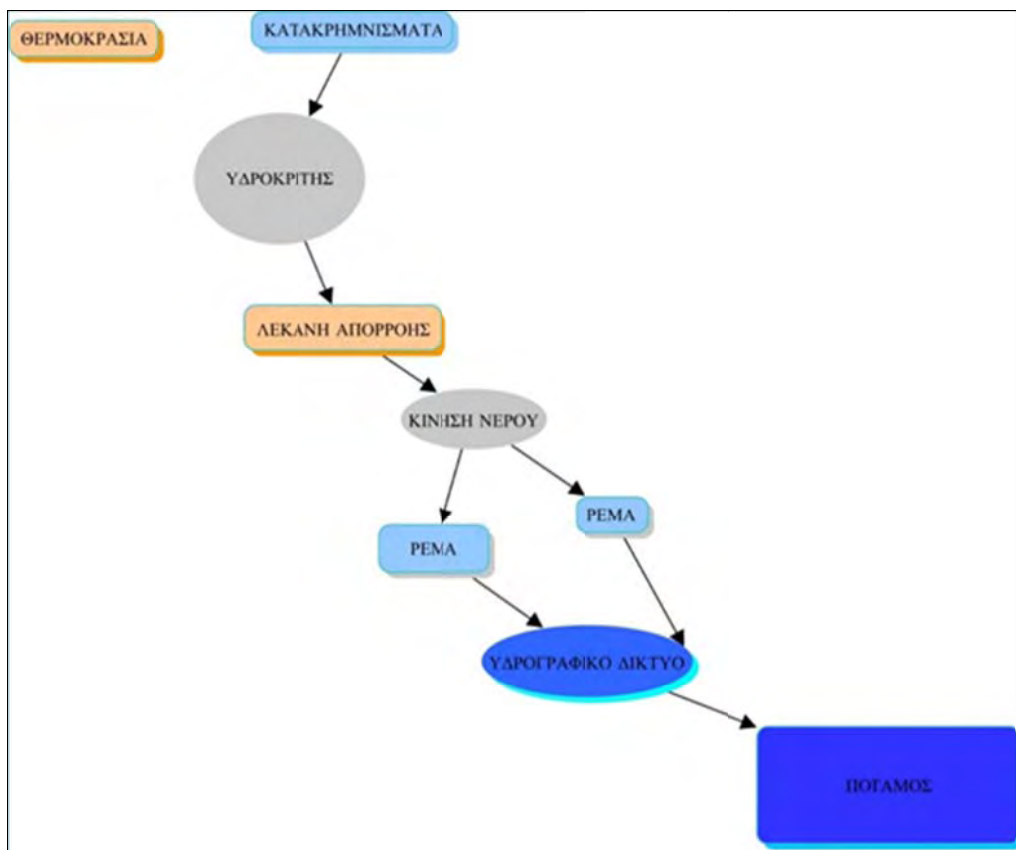
### **Εννοιολογικοί χάρτες**

Οι εννοιολογικοί χάρτες είναι διαγράμματα που απεικονίζουν γραφικά τη συσχέτιση μεταξύ διαφόρων εννοιών. Αποτελούν ένα τρόπο αναπαράστασης της ανθρώπινης σκέψης, για συγκεκριμένο πεδίο γνώσεων, προβάλλοντας ένα «οπτικό» αντικείμενο παρά μια αφηρημένη έννοια.

Δίνουν τη δυνατότητα στους διδασκόμενους να κατανοήσουν και να οργανώσουν το διδακτικό αντικείμενο, να αποθηκεύσουν τις πληροφορίες, να ανατρέχουν σ' αυτές ευκολότερα και να τις διατηρούν για μεγάλες χρονικές περιόδους.

Άλλοτε οι χάρτες παρουσιάζονται έτοιμοι και άλλοτε καλούνται οι μαθητές/τριες να τους σχεδιάσουν. Η σχεδίαση του χάρτη μπορεί να γίνει σε ατομικό ή ομαδικό επίπεδο και προϋποθέτει την καλή κατανόηση της έννοιας ή του φαινομένου που παρουσιάζει, είτε αυτή υπάρχει από πριν ή κατακτάται κατά τη διαδικασία της κατασκευής του.

Παρατίθεται ένας εννοιολογικός χάρτης με θέμα τη λεκάνη απορροής, σχεδιασμένος με το ελεύθερο λογισμικό CmapTools



**Σχήμα 7.1:** Εννοιολογικός χάρτης για τη λεκάνη απορροής

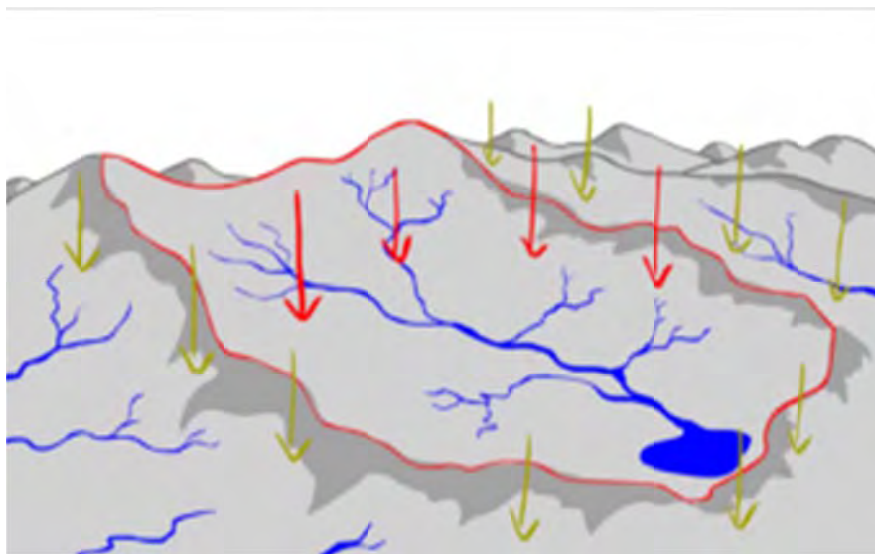
### Λεκάνη απορροής

Μπορεί να γίνει η χάραξη του υδροκρίτη πάνω σε χάρτη με το χέρι παρατηρώντας τις ισοϋψείς καμπύλες (δύο διαστάσεις). Με αυτό τον τρόπο μπορούν οι μαθητές να κατανοήσουν το σχηματισμό της λεκάνης απορροής και να κατανοήσουν το γεωγραφικό ανάγλυφο. Μέσα από αυτή τη διαδικασία οι διδασκόμενοι έχουν την ευκαιρία να αντιληφθούν τη χωρητικότητα (τρεις διαστάσεις)

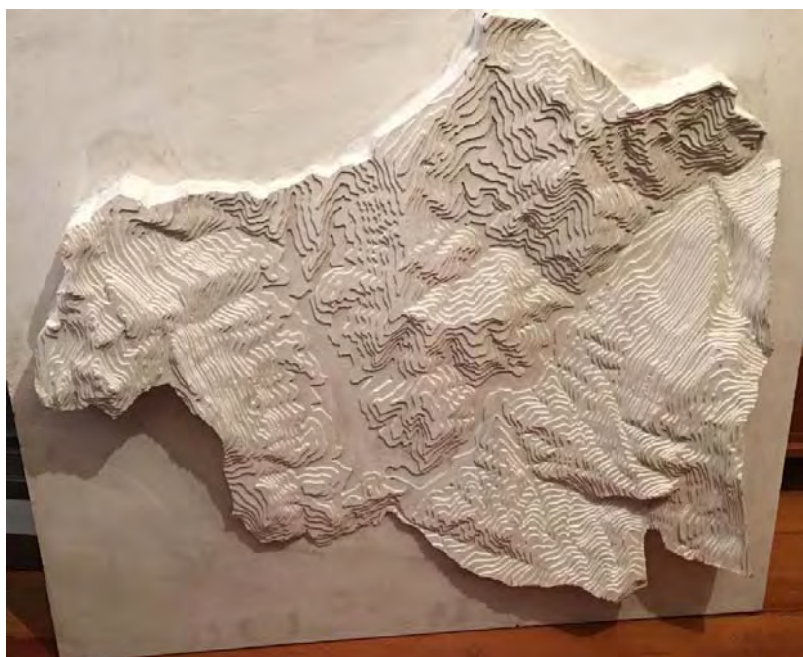
Ιδιαίτερα ελκυστική διδακτική πρακτική για τους μαθητές είναι να κατασκευάσουν μία τρισδιάστατη αναπαράσταση του ανάγλυφου με εύχρηστα υλικά π.χ πλαστελίνη. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να διατηρείται έστω και προσεγγιστικά μία κλίμακα. Ένας ακόμη στόχος είναι επίσης η αναπαράσταση του υδρογραφικού δικτύου με τις διακλαδώσεις και τις κλίσεις του. Ένα πιο προχωρημένο επίπεδο

λεπτομέρειας είναι η αναπαράσταση της βλάστησης, τυχόν οικισμών και άλλων χρήσεων γης. Το επίπεδο της επιδιωκόμενης λεπτομέρειας είναι ανάλογο της ηλικίας των διδασκόμενων. (Εικόνες 7.3 και 7.4)

Η συγκεκριμένη εργασία αποτελεί ένα ιδιαίτερο παράδειγμα συνδυασμένου γνωσιακού και ψυχοκινητικού στόχου στα πλαίσια της διδακτική περιβάλλοντος.



**Εικόνα 7.3:** Υδροκρίτης, λεκάνη απορροής, υδρογραφικό δίκτυο ([http 6](http://6))



**Εικόνα 7.4:** Πρόπλασμα τρισδιάστατου χάρτη του Πανεπιστημιακού δάσους Περτουλίου (από προσωπικό αρχείο)



### **Επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων**

Μαθαίνουν για τη λειτουργία των μετεωρολογικών σταθμών και εμβαθύνουν στις κλιματολογικές συνθήκες της εκάστοτε υπό εξέταση της περιοχής. Ανάλογα τη βαθμίδα εκπαίδευσης μπορούν να γίνουν διάφορες επεξεργασίες δεδομένων από απλούς τύπους, αθροίσματος, μέσου όρου, σε μηνιαία ή ετήσια βάση έως τις σύνθετες χρονοσειρές. Προτιμότερο είναι με ομαδικό τρόπο να επεξεργάζονται διαδοχικά σε υπολογιστικό φύλλο τα διάφορα στάδια των μετεωρολογικών δεδομένων, δηλαδή η πρώτη ομάδα κάνει αθροίσματα, η δεύτερη ασχολείται με τη μέση τιμή τρίτη βγάζει συμπεράσματα για το κλίμα της περιοχής. Με αυτό τον τρόπο εργάζονται ομαδοσυνεργατικά και με ερευνητική διάθεση.

Επίσης η εργασία στο πεδίο να περιλαμβάνει και επίσκεψη σε μετεωρολογικό σταθμό, όπου μπορούν να ενημερωθούν για τον τρόπο λειτουργία του. Με τις γνώσεις που θα αποκτήσουν οι μαθητές, θα μπορούν να χρησιμοποιούν τα κατάλληλα όργανα και να κάνουν διάφορες μετρήσεις όπως, π.χ. να καταγράψουν το μικροκλίμα της περιοχής τους, να επεξεργάζονται τα διάφορα μετεωρολογικά στοιχεία και να βγάζουν συμπεράσματα σχετικά με αυτό.

Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζονται τα όργανα μέτρησης του μετεωρολογικού σταθμού (Μ.Σ) Α.Π.Θ, του Πανεπιστημιακού Δάσους του Περτουλίου (Εικόνες 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, 7.12).



**Εικόνα 7.5:** Μ.Σ, ΑΠΘ. Περτουλίου  
(από προσωπικό αρχείο)



**Εικόνα 7.6:** Η παλιά χιονοτράπεζα  
Μ.Σ. Περτουλίου(από προσωπικό αρχείο)

Από τα δυο κατακόρυφα θερμόμετρα, το δεξί μετράει την υγρή θερμοκρασία και το αριστερό την ξηρή. Από τα δυο οριζόντια στην ίδια φωτογραφία, το πάνω μετράει τη μέγιστη της ημέρας και το κάτω την ελάχιστη. (Εικόνα 7.7)



**Εικόνα 7.7:** Μέτρηση της θερμοκρασίας Μ.Σ  
Α.Π.Θ. Περτουλίου (από προσωπικό αρχείο)

Από τα τρία θερμόμετρα εδάφους, το αριστερό μετράει σε βάθος 5cm, το μεσαίο σε 10cm και το δεξιό σε 20cm (Εικόνα 7.8)



**Εικόνα 7.8:** Μέτρηση θερμοκρασίας εδάφους  
Μ.Σ Α.Π.Θ. Περτουλίου (από προσωπικό αρχείο)

Το ένα θερμόμετρο εδάφους μετράει την θερμοκρασία σε βάθος 50 cm.( Εικόνα 7.9)



**Εικόνα 7.9:** Μέτρηση θερμοκρασίας εδάφους  
Μ.Σ. Α.Π.Θ. Περτουλίου (από προσωπικό αρχείο)



**Εικόνα 7.10:** Μέτρηση υγρασίας Μ.Σ  
Α.Π.Θ. Περτουλίου (από προσωπικό αρχείο)



**Εικόνα 7.11:** Σύγχρονος τηλεμετρικός σταθμός  
Α.Π.Θ. Περτουλίου (από προσωπικό αρχείο)





**Εικόνα 7.12:** Ανεμόμετρο Μ.Σ, Α.Π.Θ  
Περτουλίου (από προσωπικό αρχείο)

### **Μαθηματικοί τύποι**

Η εφαρμογή διάφορων μαθηματικών τύπων για τον υπολογισμό των τιμών των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στη μελέτη του υδατικού ισοζυγίου, έχει ως αποτέλεσμα οι διδασκόμενοι να τους κατανοούν καλύτερα καθώς τους εφαρμόζουν. Γνωρίζουν τις διεργασίες που γίνονται στο φυσικό περιβάλλον και την άμεση ποσοτική περιγραφή μέσα τους μέσα από αυτούς. Οι αναφορά της αριθμητικής τιμής ενός φαινομένου δρα καταλυτικά σε σχέση με μία απλή αναφορά με επιθετικό προσδιορισμό. Εντυπώνεται τελείως διαφορετικά για παράδειγμα για την τελική απορροή ενός ποταμού η τιμή  $95.650.450\text{m}^3$  από να πούμε ότι ο ποταμός έχει μεγάλη απορροή.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύνδεση της εδαφικής υγρασίας με την τελική απορροή. Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία για να υπολογιστεί σωστά η απορροή κάθε μήνα έπρεπε ληφθεί υπόψη η εδαφική υγρασία του προηγούμενου μήνα να



επιλεγεί η σωστή περίπτωση και να εφαρμοστεί ο κατάλληλος μαθηματικός τύπος τελικής απορροής. Με τον τρόπο αυτό οι διδασκόμενοι συνειδητοποιούν την αναγκαιότητα της εμπλοκής εμπειρικών για την κατά το δυνατόν ορθή και όχι στρεβλωμένη εφαρμογή του μαθηματικού φορμαλισμού. Συγκεκριμένα οι μαθητές πρέπει:

- α) να επιλέξουν τη σωστή τιμή της μέγιστης υγρασίας ( $W_{max}$ )
- β) να διακρίνουν πια από τις τέσσερις περιπτώσεις της εδαφικής υγρασίας ισχύει κάθε φορά
- γ) να βρουν την υγρασία του εδάφους του τρέχοντος μήνα λαμβάνοντας υπόψη την υγρασία του προηγούμενου και να εφαρμόσουν τον κατάλληλο μαθηματικό τύπο
- δ) να υπολογίσουν την τελική τιμή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής
- ε) να υπολογίσουν την τελική τιμή της τελικής απορροής

Χάρη στη συγκεκριμένη μεθοδολογία η οποία περιλαμβάνει μαθηματική ακολουθία είναι σε θέση οι μαθητές να εργαστούν λαμβάνοντας το κλίμα των τεσσάρων εποχών της εξεταζόμενης περιοχής και στη συνέχεια να κατανοήσουν το οικοσύστημα και συγκεκριμένα το υποσύστημα του υδατικού ισοζυγίου ως αέναο χρονικό συνεχές.

Η μέθοδος της ανάλυσης του υδατικού ισοζυγίου είναι πολυπαραγοντική καθώς εμπλέκει τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, την θερμοκρασία, τη βροχοβαθμίδα τη θερμοβαθμίδα την εξατμισοδιαπνοή, την διηθητικότητα με βάση το γεωλογικό και εδαφικό υπόβαθρο και τις χρήσεις γης, την εδαφική υγρασία και την τελική απορροή. Συνεπώς δεν μπορεί παρά να εισάγει τους μαθητές στην ολιστική και (οικο)συστημική θεώρηση του νερού ως πεπερασμένου φυσικού πόρου και κατ' επέκταση στην ανάγκη λελογισμένης διαχείρισης και προστασίας ως ζωτικής φύσεως οικονομικού αγαθού.

Επομένως με τη χρήση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας επιτυγχάνεται πρωτογενώς η επίτευξη των προαναφερθέντων γνωσιακών στόχων και δευτερογενώς, μέσα από αυτούς, η καλλιέργεια στάσεων και αξιών υπέρ της προστασίας του οικοσυστήματος.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνόγλωσση

Ανώνυμος, (2013). Τεχνική έκθεση Δασαρχείου Τρικάλων

Ειδική Γραμματεία Υδάτων «Σχέδια διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας λεκανών απορροής ποταμών των υδατικών διαμερισμάτων της χώρας» Εκτίμηση αριθμού καμπύλης απορροής CN με την μεθοδολογία SCS.

Οικοδόσος, Ε.Π.Ε. (2017). Μελέτη Διαχείρισης Δημοτικού Δάσους Γαρδικίου, Δήμου Πύλης, Διαχειριστικής Περιόδου 2016-2026.

Καλλιάρης, Χ. (2016). Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Καραπάνος Σ. (2007). Το χειμαρρικό περιβάλλον (Δυναμικό) του χειμάρρου Πάμισου Θεσσαλίας. (επίσης παραγωγή χειμαρρικών φαινομένων – αποτελεσματικότητα των εκτελεσθέντων έργων διευθέτησής), Θεσσαλονίκη. (MSc Thesis)

Κολοβός Θ. (2009). Δασοπονικός χάρτης δημοσίου δάσους Μελισσουργών

Λουκάς, Αθ. (άνευ έτους). Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Μάρης, Φ. (άνευ έτους). Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Παιδαγωγικό Ινστιτούτο. Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών (Δ.Ε.Π.Π.Σ.), ΦΕΚ 304Β/13-03-2003

Παυλίδης, Θ. (2005). Δασική υδρολογία και υδάτινοι πόροι. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Στάθης, Δ. (1998). Τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της Πίνδου από υδρολογική άποψη. (Doctoral dissertation).

Στεφανίδης, Π. (2004). Ορεινή υδρονομική Ι (Διευθετήσεις Ορεινών Υδάτων), Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

- Στεφανίδης, Π. (2006). Μαθήματα και Ασκήσεις Υδρολογίας και Μηχανικής. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Τεντολούρης, Κ. και Αγγέλου, Α.(2016). Διαχειριστική έκθεση Δημοσίου Δάσους Αθαμανίας.
- Τσιούκας, Β. (2014).Εφαρμογές Πληροφορικής στην Τοπογραφία. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ψιλοβίκος, Α.(2016). Οικοϋδραυλική. Εκδόσεις Τζιόλα
- Ψιλοβίκος, Α.(2016) Υδατικό Ισοζύγιο. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

### **Ξενόγλωσση**

- Andrade, J. B. S. O., Garcia, J., deAndradeLima, M., Barbosa, S. B., Heerdt, M. L., & Berchin, I. I. (2016). Aproposal of a Balanced Scorecard for an environmental education program at universities *Journal of Cleaner Production*.
- Arevalo, J., Mola-Yudego, B., Pelkonen, P., & Qu, M. (2012). Students' views on forestry education: A cross-national comparison across three universities in Brazil, China and Finland. *Forest Policy and Economics*, 25, 123-131.
- Blanchet-Cohen, N., & Reilly, R. C. (2013). Teachers' perspectives on environmental education in multicultural contexts: Towards culturally-responsive environmental education. *Teaching and Teacher Education*, 36, 12-22.
- Borge, A. I., Nordhagen, R., & Lie, K. K. (2003). Children in the environment: forest day-care centers: modern day care with historical antecedents. *The History of the Family*, 8(4), 605-618.
- Bacelar-Nicolau, P., Caeiro, S., Martinho, A. P., Azeiteiro, U. M., & Amador, F. (2009). E-learning for the environment: The UniversidadeAberta (Portuguese Open

- Distance University) experience in the environmental sciences post-graduate courses. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 10(4), 354-367.
- Buta, N., Holland, S. M., & Kaplanidou, K. (2014). Local communities and protected areas: The mediating role of place attachment for pro-environmental civic engagement. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 5, 1-10.
- Costel, E. M. (2015). Didactic options for the environmental education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 180, 1380-1385.
- Dlouhá, J., & Burandt, S. (2015). Design and evaluation of learning processes in an international sustainability oriented study programme. In search of a new educational quality and assessment method. *Journal of Cleaner Production*, 106, 247-258.
- Florentina, M., & Barbu, M. (2015). An Inter-disciplinary Approach in Teaching Geography, Chemistry and Environmental Education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 180, 660-665.
- Goula, M., Ladas, Ch. Ap., Gioti-Papadaki, Ol., Hasanagas, N. (2015). The spatial dimension of environment-related attitudes: Does urban or rural origin matter? *Regional Science Inquiry* (forthcoming)
- Halkos, G., & Matsiori, S. (2014). Exploring social attitude and willingness to pay for water resources conservation. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 49, 54-62.
- Halkos, G., & Matsiori, S. (2016). Determining public attitudes and willingness-to-pay for artificial lakes protection. *Water Resources and Economics*, 15, 15-27.

- Hiner, C. C. (2014). “Been-heres vs. come-heres” and other identities and ideologies along the rural–urban interface: A comparative case study in Calaveras County, California. *Land Use Policy*, 41, 70-83.
- Hoang, T. T. P., & Kato, T. (2016). Measuring the effect of environmental education for sustainable development at elementary schools: A case study in Da Nang city, Vietnam. *Sustainable Environment Research*, 26(6), 274-286.
- Karatzoglou B. (2013). An in-depth literature review of the evolving roles and contributions of universities to Education for Sustainable Development. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 49, 44-53
- Kopnina, H. (2015). Neoliberalism, pluralism and environmental education: The call for radical re-orientation. *Environmental Development*, 15, 120-130.
- Kwan, B. K., Cheung, J. H., Law, A. C., Cheung, S. G., & Shin, P. K. (2017). Conservation education program for threatened Asian horseshoe crabs: a step towards reducing community apathy to environmental conservation. *Journal for Nature Conservation*, 35, 53-65.
- Muller, B., & Flohr, T. (2016). A Geodesign approach to environmental design education: Framing the pedagogy, evaluating the results. *Landscape and Urban Planning*, 156, 101-117.
- Petruța, G. P. (2015). Formation of some concepts of natural sciences during primary education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 180, 688-695.
- Petruța, G. P. (2015). Methodical Aspects Regarding the use of Disciplinary Maps in Biology, in Order to Improve the School Children's Knowledge. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 180, 433-440.

- Rangel, M. O., Pita, C. B., Gonçalves, J. M. S., Oliveira, F., Costa, C., &Erzini, K. (2015). Eco-touristic snorkelling routes at Marinha beach (Algarve): Environmental education and human impacts. *Marine Policy*, 60, 62-69.
- Rodrigues S.J. (2014). Environmental Education: A Propose of High School. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 116, 231-234
- Rodríguez-Barreiro L.M., Fernández-Manzanal R., Serra L.M., Carrasquer J., Murillo M.B., Morales M.J., Calvo J.M., Valle J.d. (2013). Approach to a causal model between attitudes and environmental behaviour.A graduate case study. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 48, 116-125
- Sutton S.G. &Gyuris E. (2015).Optimizing the environmental attitudes inventory: Establishing a baseline of change in students' attitudes. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 16, No 1, 1-16
- Vizgirdaite J. &Juceviciene P. (2014). Designing and Implementing a Didactic System as an Educational Empowerment of Student Collaborative Learning in the University Studies. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 116, 3830-3837.
- Zsóka, Á.,Szerényi, Z. M., Széchy, A., &Kocsis, T. (2013). Greening due to environmental education? Environmental knowledge, attitudes, consumer behavior and everyday pro-environmental activities of Hungarian high school and university students.*JournalofCleanerProduction*, 48, 126-138.



**Ιστότοποι**

http1: <https://www.google.gr>

http2: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Water\\_cycle\\_el.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d9/Water_cycle_el.jpg)

http3: <http://www.pi-schools.gr/perivalontiki/>

http4: <https://www.cleanwaterstore.com/>

http5: <http://www.deyamp.gr>

http6: <https://water-polis.gr/>

## Abstract

The scope of this study is to investigate the mass balance of Moutsariti's stream in Thessaly, Central Greece, by taking into account the hydrological data of its catchment area with the perspective of didactical use. The innovation lies in applying these equations in a scientifically detailed, valid and also didactically appropriate way. It is emphasized that these equations are still quite unexplored in the particular case study and much more unexplored from the didactical point of view.

Autocad software was used in order to re-demarcate correctly the water catchment area of the particular stream and a new digital map was created. The hydrographic network, the watershed and the land use map were depicted. Afterwards, meteorological data, the Thornthwaite model of evapotranspiration and soil humidity models were used in order to examine the runoff from 2010 to 2017. Main results: The minimal value of runoff occurred in 2011 ( $44.096.707 \text{ m}^3$ ) while the maximal value (almost twice higher) appeared in 2012.

**Key words:** water balance equations, drainage basin, evapotranspiration, runoff, soil moisture, environmental didactics

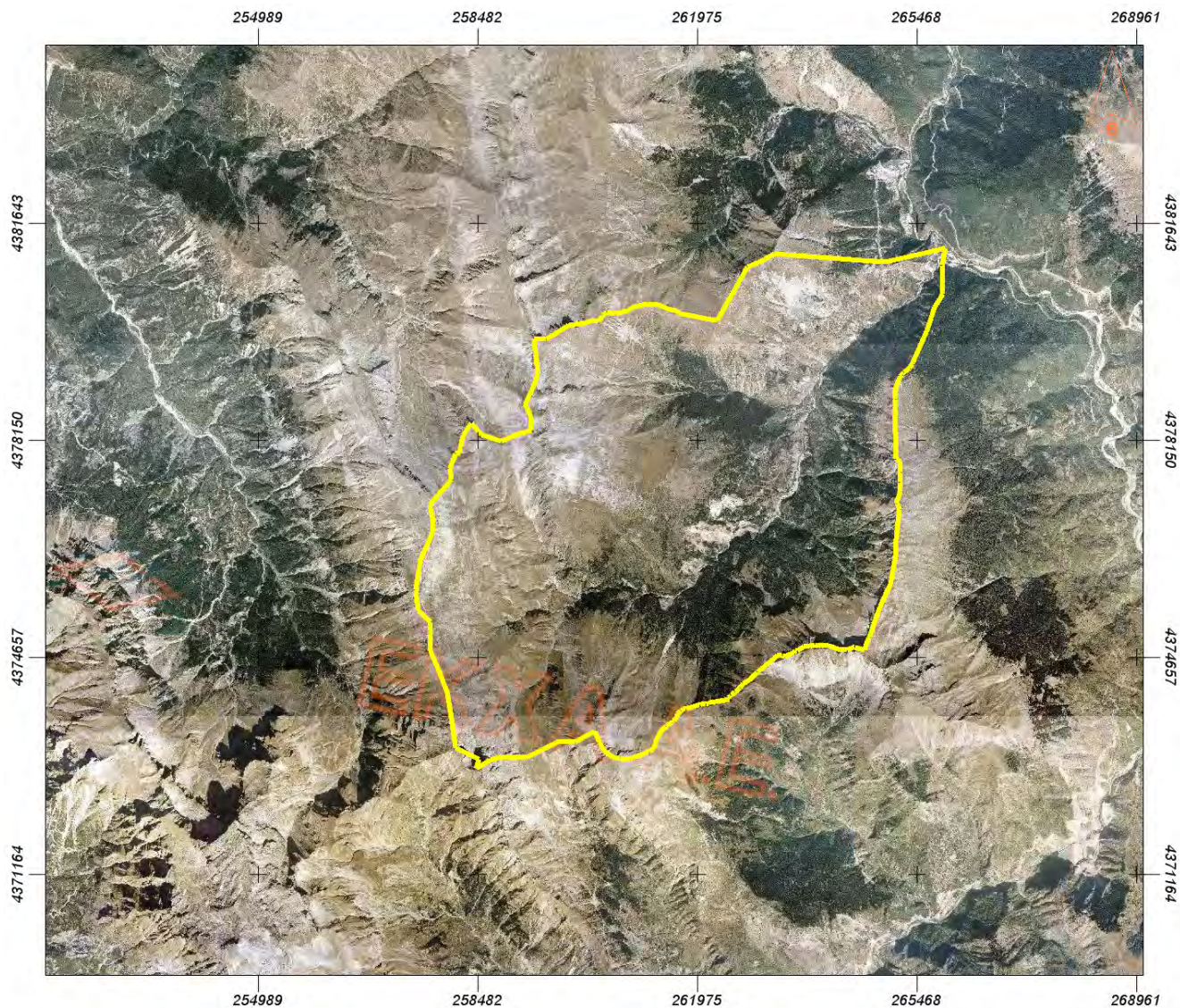
## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**Επισυνάπτονται οι εξής χάρτες της λεκάνης απορροής του χειμάρρου  
Μουτσιαρίτη:**

- Απόσπασμα του Εθνικού Κτηματολογίου.
- Χάρτης με τον υδροκρίτη, τις ισοϋψείς καμπύλες και το υδρογραφικό δίκτυο.
- Χάρτης Χρήσεων γης.



**Εθνικό Κτηματολόγιο  
& Χαρτογραφική Α.Ε.**



Εμβαδόν: 46508512.20 τ.μ.

Ιδιότητα:		
Α/Α	X	Y
0	265129.26	4378802.34
1	265134.61	4378877.22
2	265134.61	4378973.50
3	265150.68	4379053.73
4	265182.81	4379117.92
5	265214.93	4379176.76
6	265231.00	4379203.50
7	265257.77	4379235.60
8	265300.61	4379273.04
9	265348.76	4379304.95
10	265396.20	4379375.67
11	265636.61	4379914.79
12	265753.47	4380280.80
13	265878.13	4380498.85
14	265870.34	4380958.32
15	265928.74	4381235.52
16	265660.09	4381174.14
17	264957.46	4381013.61
18	263196.64	4381147.52
19	262950.55	4381003.01

20	262769.23	4380939.93
21	262458.77	4380364.45
22	262297.83	4380068.57
23	262107.14	4380101.59
24	261927.38	4380139.11
25	261793.24	4380163.23
26	261696.66	4380181.99
27	261632.27	4380232.91
28	261551.78	4380246.31
29	261506.01	4380256.23
30	261364.75	4380321.06
31	261183.52	4380343.70
32	261097.26	4380324.74
33	261021.17	4380305.81
34	260948.63	4380290.55
35	260868.46	4380237.17
36	260818.84	4380225.72
37	260682.92	4380179.59
38	260538.17	4380202.24
39	260477.01	4380147.95
40	260411.47	4380059.72
41	260278.57	4380064.95
42	260190.77	4380030.63
43	260110.60	4380019.19
44	259935.96	4380001.07
45	259572.11	4379768.49
46	259389.68	4379773.82
47	259394.79	4379581.97
48	259435.17	4379244.23
49	259419.48	4379119.08
50	259254.74	4378754.61
51	259255.62	4378684.57
52	259316.03	4378541.79
53	259332.80	4378300.77
54	259134.91	4378253.60
55	258863.76	4378132.16
56	258543.76	4378241.19
57	258388.81	4378419.03
58	258248.26	4378227.56
59	258207.29	4378031.59
60	258190.89	4377950.50
61	258127.40	4377931.83
62	258101.16	4377853.08
63	258042.78	4377691.75
64	258063.51	4377505.92
65	257721.50	4377113.89
66	257757.81	4376915.72
67	257770.81	4376674.57
68	257580.13	4376222.41
69	257490.83	4375734.13
70	257540.62	4375398.37
71	257740.49	4375218.23
72	257716.19	4375080.35
73	257734.35	4374747.71
74	257876.66	4374395.71
75	257995.93	4374075.53
76	258052.69	4373766.64
77	258127.83	4373190.24

http://ojs.ktlimanet.gr/wms/ktbasemap/Apospasma.aspx



136	262812.13	4374292.05
137	262938.85	4374406.33
138	263253.50	4374674.13
139	263329.55	4374678.69
140	263375.48	4374658.30
141	263510.73	4374724.57
142	263543.90	4374752.61
143	263569.42	4374760.26
144	263610.25	4374780.65
145	263679.14	4374816.33
146	263850.11	4374844.37
147	264070.07	4374840.06
148	264217.92	4374783.44
149	264356.54	4374774.37
150	264459.25	4374804.45
151	264479.06	4374813.79
152	264641.18	4374763.86
153	264672.38	4374863.45
154	264705.08	4374968.89
155	264716.15	4374976.81
156	264812.88	4375263.22
157	264881.97	4375446.11
158	264930.33	4375570.34
159	265052.60	4375831.10
160	265130.34	4376280.67
161	265145.00	4376587.81
162	265183.91	4376951.34
163	265195.67	4377029.40
164	265162.39	4377125.76
165	265160.05	4377175.72
166	265188.96	4377246.75
167	265207.89	4377322.73
168	265200.41	4377462.54
169	265203.09	4377628.38
170	265212.04	4377723.11
171	265189.67	4377793.71
172	265147.89	4377856.15
173	265114.60	4378692.15

